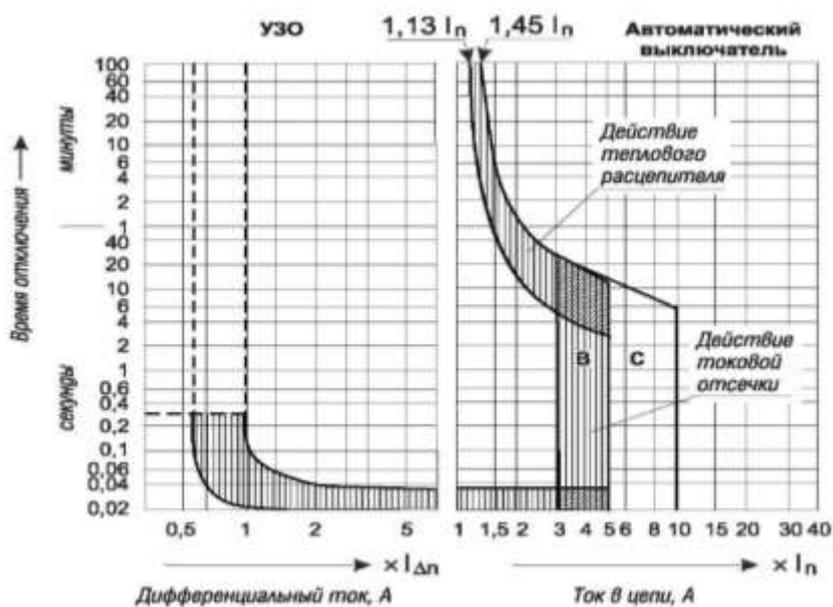


А.В. Бастрон, А.В. Чебодаев, А.Г. Черных

---

# МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

---



---

Часть 1

---

Красноярск 2016

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

А.В. Бастрон, А.В. Чебодаев, А.Г. Черных

# **Монтаж электрооборудования и средств автоматизации**

Часть 1

2-е изд., испр. и доп.

*Рекомендовано Научно-методическим советом по технологиям, средствам механизации и энергетическому оборудованию в сельском хозяйстве в качестве учебного пособия при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 «Агроинженерия»*

Красноярск 2016

ББК 31.279-04:31.279.2

Б 27

*Рецензенты:*

*Л.В. Куликова, д-р техн. наук, проф. каф. электрификации производства и быта ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

*В.Н. Гиренков, канд. техн. наук, доцент, начальник Управления проектирования Департамента капитального строительства ОАО «МРСК Сибири»*

Б 27 **Бастрон, А.В.**

**Монтаж электрооборудования и средств автоматизации:** учеб. пособие. Часть 1. – 2-е изд., испр. и доп. / А.В. Бастрон, А.В. Чебодаев, А.Г. Черных; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2016. – 291 с.

Книга дает студентам необходимое теоретическое понимание и возможность подготовки к проведению экспериментальной части работы, входящей в программу дисциплины, оказывает помощь в обработке результатов эксперимента, а также способствует приобретению студентами практических навыков при выполнении работ в лаборатории.

В первой части рассматриваются разделы, посвящённые правилам и приёмам выполнения электромонтажных работ, электрическим аппаратам низкого напряжения и монтажу силового электрооборудования и средств автоматизации.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» в рамках подготовки бакалавров по профилю «Электрооборудование и электротехнологии в АПК» в качестве учебного пособия к лабораторным занятиям по курсу «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации».

ББК 31.279-04:31.279.2

© Бастрон А.В., Чебодаев А.В., Черных А.Г., 2016  
© ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Представляемое учебное пособие по монтажу электрооборудования и средств автоматизации является переработанным и дополненным учебным пособием «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации», составленным А.В. Бастроном и изданным в 2004 г. Красноярским государственным аграрным университетом и допущенным Министерством сельского хозяйства Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» и специальности 110801.65 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства».

В предлагаемом пособии, авторами которого являются канд. техн. наук, доцент А.В. Бастрон – заведующий кафедрой электроснабжения сельского хозяйства; канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения сельского хозяйства Красноярского государственного аграрного университета А.В. Чебодаев и канд. техн. наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники Иркутского государственного аграрного университета им. А.А. Ежевского А.Г. Черных. Учтен многолетний опыт преподавания дисциплины «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации» в Красноярском и Иркутском государственных аграрных университетах.

Пособие содержит справочные материалы о современных электротехнических изделиях, выпускаемых как в России, так и за рубежом, и предлагаемых на рынке изделиях электротехнической промышленности России, Китая, Германии, Франции и других стран (с указанием на сайты заводов-изготовителей или компаний, представляющих эту продукцию), что в значительной мере отличает его от предыдущего издания.

В пособии описаны современные технологии монтажа электрооборудования и средств автоматизации, которые применяются в современном сельскохозяйственном производстве и жилищно-коммунальной сфере, а также в промышленности.

В пособие, в отличие от предыдущего издания, вошли дополнительно следующие разделы «Изучение конструкции и защитных характеристик предохранителей», «Изучение конструкции и исследование защитных характеристик автоматических выключателей».

Пособие состоит из двух частей. В первую включены лабораторные работы, посвященные правилам и приемам выполнения электромонтажных работ, электрическим аппаратам низкого напряжения и монтажу силового электрооборудования и средств автоматизации. Во вторую включены лабораторные работы, посвященные монтажу электрических проводок, монтажу осветительных установок и монтажу оборудования систем электроснабжения.

В программе курса «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации» большое внимание уделяется лабораторным работам, которые помогают студентам закрепить изученный теоретический материал, связать теорию с практикой.

Повышение уровня электрификации производства требует постоянного увеличения объемов работ по монтажу и наладке технологического и электротехнического оборудования. К тому же электрооборудование постоянно усложняется и для его монтажа и наладки требуются специалисты высокой квалификации, хорошо знающие устройство электрооборудования, электроинструмент, прогрессивные индустриальные методы и приёмы электромонтажных работ.

Во всех лабораторных работах в первую очередь, обращается внимание на изучение проектной и технологической документации типовых проектов, ПУЭ, СНиП, ПТЭ и ТБ, государственных стандартов и инструкций по выполнению различных электромонтажных работ в промышленности и сельском хозяйстве в соответствии с нормами и правилами, утверждёнными органами строительного, энергетического, пожарного, санитарного, экологического и других надзоров.

В работах охвачены наиболее важные практические вопросы, входящие в программу соответствующих разделов курса «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации», такие как изучение конструкций, принципов действия и схем включения аппаратов защиты и силового электрооборудования, монтаж силового электрооборудования и монтаж низковольтных комплектных устройств.

Уделено внимание как отечественным, так и зарубежным новым технологиям, материалам и комплектующим изделиям для монтажа электрооборудования, сетей электроснабжения и средств автоматизации.

В ходе выполнения лабораторных работ студент получает практические навыки решения таких профессиональных задач, как монтаж, наладка и поддержание режимов работы электрифицированных и автоматизированных устройств, машин и установок; ведение

технической документации, связанной с монтажом, наладкой и эксплуатацией оборудования, средств автоматики и энергетических установок.

В каждой лабораторной работе ставится цель работы, даны задания, представлены общие сведения по тематике изучаемого материала, порядок выполнения работы, содержание отчета, контрольные вопросы, литература.

В первой лабораторной работе рассматривается механизация крепежных работ в электромонтажном производстве с использованием средств электрифицированного и пиротехнического инструмента, показаны особенности различной оснастки инструмента и основные виды крепежа.

Во второй лабораторной работе изучаются конструкции и защитные характеристики предохранителей, методика расчета плавкой вставки и выбора предохранителя для защиты электроустановки.

В третьей лабораторной работе изучаются конструкции и исследуются защитные характеристики автоматических выключателей, методики расчета расцепителей и выбора автоматических выключателей для защиты электроустановок.

Четвертая работа посвящена изучению конструкции устройств защитного отключения. Проводится исследование их защитных характеристик, приведена методика выбора параметров уставки дифференциального тока для защиты людей и животных от поражения электрическим током, а также электроустановок зданий от пожара.

В пятой и шестой лабораторной работах изучаются конструкции, технологии монтажа, схемы включения магнитных пускателей, приводятся методики расчета и выбора параметров магнитного пускателя. Изучается конструкция, исследуются защитные характеристики тепловых реле.

В седьмой лабораторной работе рассматривается монтаж коммутационных аппаратов, распределительных устройств и вторичных цепей в установках напряжением до 1000 В на примере РУСМ 5000.

В восьмой лабораторной работе изучаются вопросы, связанные с классификацией, маркировкой, конструкцией асинхронных электрических двигателей, а также выполняется диагностика электрического двигателя перед монтажом, проверка смонтированного электродвигателя с рабочим агрегатом.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Каждой работе должна предшествовать предварительная подготовка, в процессе которой студент повторяет изученный теоретический материал по рекомендуемой литературе, подготавливает протокол работы. Перед началом выполнения лабораторной работы проводится проверка подготовленности студентов к данной лабораторной работе. В случае неподготовленности, студент к работе не допускается.

Перед сборкой электрических схем необходимо убедиться в отсутствии напряжения на клеммных зажимах источника питания лабораторного стенда. Сборку схемы рекомендуется начинать с последовательно соединяемых элементов и приборов, а затем подключать параллельные ветви как самой цепи, так и приборов.

Без проверки преподавателем напряжение на схему не подаётся. Все изучения методических материалов делают при отключённом напряжении.

В лаборатории монтажа электрооборудования и средств автоматизации при выполнении лабораторных работ применяется напряжение 220 и 380 В. Поражение электрическим током при таких напряжениях может привести к тяжелым последствиям. Поэтому, чтобы обезопасить себя и своих товарищей при выполнении работы, студенты должны строго соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности в лаборатории и расписавшиеся в журнале по технике безопасности.

2. Приступая к работе, следует ознакомиться с источниками электропитания, способами их включения и отключения.

3. Перед сборкой схемы убедитесь, что автоматические выключатели и источники питания отключены, а указатель лабораторного автотрансформатора находится в позиции «Нуль». Помните, что отключенный конденсатор может сохранять опасный остаточный заряд. Его следует разрядить до включения в цепь.

4. При сборке электрической схемы соединительные провода должны быть надежно присоединены к клеммам на стенде, иметь наименьшее число пересечений, не закрывать шкалу измерительных

приборов. Клеммы измерительных приборов не должны использоваться для промежуточных соединений проводов. Следует осмотреть изоляции соединительных проводов и убедиться в их исправности. Нельзя пользоваться проводами без наконечников.

5. Включение схемы под напряжение должно производиться только после разрешения преподавателя. При подаче напряжения необходимо предупредить остальных членов звена словами: «Внимание! Включаю!».

6. При обнаружении каких-либо неисправностей в процессе выполнения работы (шум, гудение, искрение, нагрев проводов и реостатов) немедленно отключить источник питания и пригласить преподавателя. Все изменения в схемах или устранение причин неисправности производить только при полном отключении источников питания.

7. Запрещается оставлять действующую электроустановку без наблюдения.

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Выполненная лабораторная работа оформляется в виде отчёта каждым студентом. Отчет должен содержать следующее:

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальные электрические схемы, исследуемые в работе, выполненные с соблюдением требований ГОСТа.
3. Таблицы, графики или другие результаты опытов, проведенных в работе, в соответствии с указаниями, помещенными в описании каждой работы в разделе «Содержание отчета».
4. Расчетные формулы и результаты вычислений.
5. Краткие выводы, содержащие объяснения полученных результатов сточки зрения теории.

Студент подписывает отчет и защищает его перед выполнением следующей работы.

## **Р А З Д Е Л 1**

### **ВЫПОЛНЕНИЕ КРЕПЕЖНЫХ РАБОТ В ЭЛЕКТРОМОНТАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

#### **Лабораторная работа 1**

### **МЕХАНИЗАЦИЯ КРЕПЕЖНЫХ РАБОТ В ЭЛЕКТРОМОНТАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

#### **Цель работы**

Ознакомиться с механизмами, инструментами и приспособлениями для крепления электрических конструкций.

Изучить способы и методы выполнения крепежных работ.

Получить практические навыки крепления электрических конструкций.

#### **Задание к работе**

1. Изучить образцы деталей, механизмов и инструментов для крепежных работ.
2. Проверить исправность электроинструментов, измерить сопротивление изоляции инструмента и кабеля.
3. Закрепить к основанию электроконструкцию одним из предлагаемых способов.

#### **Общие сведения**

Монтаж электрооборудования связан с выполнением крепежных работ, которые отличаются большой трудоемкостью. Поэтому дыропробивные и крепежные работы должны быть максимально механизированы. Для этих целей широко применяют электрифицированный и пороховой инструменты [1, 2].

#### **Электрифицированный инструмент**

Промышленность России (Пермская научно-производственная приборостроительная компания (Пермская НППК), ОАО «Конаковский завод механизированного инструмента и др.) и зарубежных стран (Makita, Hitachi – Япония, BOSCH – Германия и др.) выпускает универсальный и специализированный инструмент: электродрели, электродрели ударного действия, перфораторы, электрические пилы и др. [3, 4, 5, 6, 7].

Отечественные универсальные дрели с функцией удара (ДЭУ-680 К1, МЭС – 600 ЭРУ, ИЭ 1505 БЭ, ИЭ 1511 БЭ и т. п.) выполняют ударно-вращательное действие с реверсом при регулировании и фиксации необходимой скорости вращения и предназначены для сверления, сверления с ударом, резания мягких металлов, завинчивания и вывинчивания винтов, нарезания резьбы, шлифования, полирования и др.

Максимальный диаметр сверления, например, дрели ДЭУ-680 К1 [7] (рис. 1.1, а) мощностью 680 Вт с частотой вращения 0–2800 об/мин составляет:

- в металле – 13 мм;
- дереве – 25 мм;
- бетоне – 16 мм.

При выполнении отверстий в различных строительных материалах, таких как дерево, пластик, черный и цветные металлы, различные сорта сталей, а также строительные основания (бетон, кирпич, гипс и пр.) и природном камне (гранит, мрамор, известняк и пр.) необходимо применять соответствующие сверла (рис. 1.1, б–е).

Спиралевидные сверла по дереву (рис. 1.1, б) имеют направляющий центральный выступ и режущие боковые кромки. Применяются для сверления мягких и твердых пород дерева. Спиралевидная конструкция позволяет эффективно выводить стружку из отверстия. Винтовая конструкция сверла (рис. 1.1, в) имеет вместо центрирующего выступа винт, который врезается в древесину подобно шурупу и тянет режущие грани сверла с постоянным шагом. Режущие грани имеют следующую конструкцию, одна подрезает волокна древесины по окружности, вторая выбирает стружку от центра отверстия до подрезанной окружности, винтовая конструкция тела сверла – удаляет стружку от места реза.

Сверла по металлу имеют спиралевидную конструкцию, но в отличие от сверл по дереву имеют тупой угол заточки и две режущие кромки (рис 1.1, г, г–1). Это наиболее распространенный вид сверл, благодаря своей универсальности. Ими можно выполнять работу по дереву, пластику, цветному и черному металлам и различным видам стали. Для определенных видов сталей (легированных) применяются особые сверла по металлу (из высокопрочных быстрорежущих сталей со специальным покрытием), сверление данных материалов, как правило, выполняется с охлаждающей жидкостью [6].



Рис. 1.1. Ударная электрическая дрель и оснастка для сверления [7]:  
 а – дрель электрическая ударная ДЭУ-680 К1 (Россия); б – спиральное сверло по дереву (диаметр сверла  $D$  – от 3 до 30 мм, диаметр хвостовика  $d$  – от 3 до 13 мм, рабочая длина  $L1$  – от 33 до 145 мм, общая длина  $L2$  – от 61 до 220 мм) [6]; б-1 – заточка спирального сверла по дереву; в – винтовое сверло по дереву ( $D$  – от 6 до 32 мм, хвостовик шестигранный от 4,8 до 11,1 мм,  $L1$  – от 100 до 470 мм,  $L2$  – от 160 до 600 мм); в-1 – заточка винтового сверла по дереву; г – сверло по металлу ( $D$  – от 1 до 13 мм,  $d$  – от 1 до 13 мм,  $L1$  – от 12 до 101 мм,  $L2$  – от 34 до 154 мм) [6]; г-1 – заточка сверла по металлу; д – сверло по бетону CYL-5, для сверления в граните, бетоне, кирпичной кладке, ударопрочное высокопроизводительное сверло, для любых ударных дрелей ( $D$  – от 3 до 20 мм,  $d$  – от 3 до 10 мм,  $L1$  – от 50 до 140 мм,  $L2$  – от 90 до 200 мм) [6]; д-1 – заточка сверла по бетону CYL-5; е – сверла по бетону CYL-3, для бетона, кирпичной кладки, ударопрочные высокопроизводительные сверла по ISO 5468 для любых ударных дрелей ( $D$  – от 3 до 20 мм,  $d$  – от 3 до 12,3 мм,  $L1$  – от 40 до 550 мм,  $L2$  – от 70 до 600 мм) [6]

Сверла по камню (рис. 1.1, д, е) разрушают камень с помощью ударной силы инструмента (ударной электродрели) и поперечной режущей кромки сверла, вращение создает закругленную поверхность. Кроме того, вращение спирали сверла удаляет сверлильную пыль из высверленного отверстия. Сверла по камню используются с ударными дрелями. Сверла для режима вращательного сверления используются для сверления легкой пористой кирпичной кладки (рис. 1.1, д). Они снабжены твердосплавными пластинами с острой режущей кромкой. Эти сверла, также известные под названием универсальных сверл, оснащены твердосплавными режущими пластинами и не должны использоваться в режиме перфораторного сверления, так как режущие пластины могут отколоться. Сверла для ударного сверления используются для сверления отверстий в твердой кирпичной кладке и бетоне (рис 1.1, е). Они снабжены так называемой поперечной режущей кромкой, чтобы справляться с напряжением во время ударного сверления [8].

Перфоратор (рис. 1.2) предназначен для бурения отверстий в бетоне и других строительных основаниях (газобетоне, пенобетоне, каменной кладке, кирпиче, гипсе и пр.), образования ниш, штраб (борозд), проемов, обработки и разрушения строительных материалов, сверления (табл. 1.1) специальными ударными сверлами (бурами).

Буры для перфоратора функционируют как сверла по бетону, однако они более прочные из-за применения более высокой энергии на одно ударное воздействие перфоратора, и обычно они изготавливаются из более высококачественных материалов [8]. Их геометрия существенно отличается от геометрии сверл по камню для ударных дрелей. Бур для перфоратора имеет специальный хвостовик, с помощью которого крепится в приспособлении для крепления оснастки перфоратора и который передает ударную силу. Разделение приспособления для зажима оснастки и приспособления для передачи усилия позволяет крепить оснастку к электроинструменту без использования дополнительных инструментов (например, торцового ключа для зажимного патрона). Аббревиатура SDS означает SpecialDirectSystem. Три системы SDS получили повсеместное распространение:

- BOSCH SDS-plus для легких перфораторов;
- BOSCH SDS-top для перфораторов среднего веса;
- BOSCH SDS-max для тяжелых перфораторов.

Система для зажима оснастки SDS-plus разработана компанией BOSCH в 1975 году [8]. Диаметр хвостовика равен 10 мм. Крутящий момент передается двумя симметричными длинными шлицами. Хво-

стовик позиционируется и фиксируется в приспособлении для крепления оснастки двумя овальными пазами.

SDS-top, которая базируется на успешной системе SDS-plus и заполняет пробел между ней и системой большего размера SDS-max. Диаметр хвостовика равняется 14 мм. Крутящий момент передается двумя асимметричными длинными шлицами. Хвостовик позиционируется и фиксируется в приспособлении для крепления оснастки двумя овальными пазами. Разработка SDS-top стала необходимой, чтобы иметь систему для зажима оснастки для перфораторов среднего размера в классе 3–5 килограмм с возросшей ударной нагрузкой.

SDS-max – является передовой системой для зажима оснастки, разработанной компанией BOSCH [8] для оснастки с диаметром хвостовика 18 мм для тяжелых перфораторов класса 5 килограмм и выше. Диаметр хвостовика равняется 18 мм. Крутящий момент передается тремя асимметричными длинными шлицами. Хвостовик позиционируется и фиксируется в приспособлении для крепления оснастки двумя овальными пазами.

Кроме размера хвостовиков, буры для перфоратора отличаются своей геометрией. В зависимости от диаметра бура и его применения используются спирали и режущие кромки различной формы (рис. 1.3).



*Рис. 1.2. Перфоратор электрический Makita HR 2470*

Класс электробезопасности перфоратора – II в изолирующем корпусе (двойная изоляция). Предохранительная муфта ограничивает усилие на руки оператора при заклинивании инструмента.

Кроме того, в перфораторе предусмотрены:

- практичная установка долота (возможность установки долота в 40 положениях);
- три режима работы (сверление, сверление с ударом или долбление);

- автоматический переход на безударный режим;
- встроенная виброзащита;
- быстрая смена инструмента;
- использование буров с хвостовиками «SDS-plus»;
- фиксирование курка выключателя;
- изменяемая скорость вращения и новая конструкция реверса;
- отсутствие удара на холостом ходу.

Таблица 1.1

### Техническая характеристика перфоратора MakitaHR 2470

Параметр	Значение
Номинальная мощность, Вт	780
Частота питающего напряжения, Гц	50 ± 2,5
Номинальное напряжение, В	220 ± 22
Диапазон диаметров сверления, мм:	
– бурами	До 24
– коронками	До 65
Энергия удара, Дж	2,7
Режим работы	Продолжительный
Частота вращения, об/мин	0–1100
Частота ударов, уд/мин	0–4500
Масса, кг	2,9
Габаритные размеры, мм	370×78×195

Буры под дюбель (рис. 1.3, а–г) – эти специализированные буры используются с перфораторами от легких до средних для сверления отверстий под дюбели и других отверстий для целей монтажа в кирпичной кладке и камне. Они снабжены хвостовиками SDS-plus. Эти буры также доступны как твердосплавные универсальные сверла для безударных операций в мягких строительных материалах.

Буры под дюбель (рис. 1.3, в, г) имеют оптимизированную стружечную канавку для глубокого сверления, также для буров малого диаметра. Они снабжены вспомогательной спиралью, которая активно поддерживает транспортировку сверлильной пыли. Однако эта спираль имеет уменьшенный диаметр, чтобы устранить дополнительное трение о стенки высверленного отверстия.

Сверлильные коронки (рис. 1.3, ж–к), прежде всего, используются для сверления неглубоких отверстий для коробок в кабелепроводе и распределительных коробок. Оставшуюся центральную часть удаляют вручную. Диаметры сверления колеблются от 25 до 82 мм при глубине до 50 мм.



Рис. 1.3. Основные насадки для перфоратора с хвостовиком SDS-plus фирмы Bosch для ударного сверления [6]: а – общий вид ударного сверла (бура) с хвостовиком SDS-plus; б – ударное сверло SDS-plus-1, для бетона и кирпичной кладки ( $d$  – от 4 до 25 мм,  $L_1$  – от 50 до 400 мм,  $L_2$  – от 110 до 460 мм); в – ударное сверло SDS-plus-5, для кирпичной кладки и бетона ( $d$  – от 3 до 12 мм,  $L_1$  – от 50 до 200 мм,  $L_2$  – от 110 до 260 мм); г – ударное сверло SDS-plus-7, для кирпичной кладки и бетона ( $d$  – от 5 до 12 мм,  $L_1$  – от 50 до 400 мм,  $L_2$  – от 110 до 465 мм); д – ударное сверло SDS-plus-9 RebarCutter, для просверливания арматуры в бетоне ( $d$  – от 16 до 32 мм,  $L_1$  – 120 мм,  $L_2$  – 300 мм); е – принятые размеры ударных сверл ( $d$ ,  $L_1$  – рабочие диаметр и длина,  $L_2$  – общая длина (с хвостовиком)); ж – полая сверлильная коронка SDS-plus-9 CoreCutter, для неармированного бетона, кирпичной кладки (диаметр – от 25 до 82 мм, рабочая длина – 50 мм, число режущих кромок – 4 или 6); з – хвостовик SDS-plus с резьбой M16, для полой сверлильной коронки; и – центрирующее сверло с хвостовиком для шестигранного переходника и SDS-plus ( $d$  – 8 мм,  $L$  – 120 мм); к – полая сверлильная коронка в сборе с хвостовиком и центрирующим сверлом

Для получения отверстий различной формы (квадратной, прямоугольной), а также для расширения проемов различных форм, прокладки канавок используется в составе перфораторов ударный инструмент (рис. 1.4). К этому инструменту относятся различные по типу пики (рис. 1.4 а), зубила различной формы, ширины и назначения (рис. 1.4, б, в, г, е, з), долота (рис. 1.4, ж), костыльная кувалда (рис. 1.4, и). Данный инструмент работает только в ударном режиме, для этого предусмотрено отключение вращательного движения.

В перфораторах профессиональных серий, имеется переключатель режимов работы перфоратора. Ударно-вращательный – применяется для бурения отверстий, глухих или сквозных в строительных основаниях, ударными сверлами или сверлильными коронками. Ударно-вращательный режим является основным режимом работы любого перфоратора (у перфораторов бытового исполнения только один – ударно-вращательный режим). Вращательный режим – (отключается ударная составляющая механизма перфоратора) применяется для сверления отверстий в металле, керамической плитке и других материалах (при использовании переходника возможно использование обычных сверл по дереву или металлу). Ударный режим – (отключается вращательная составляющая рабочего механизма перфоратора) применяется для работы перфоратора в режиме «отбойного молотка» с соответствующими насадками (рис. 1.4) для разрушения части бетонных и кирпичных конструкций, а также для забивания костылей или элементов заземляющего устройства (рис. 1.4, и). Ударный режим с выставлением угла рабочей насадки – аналогичен ударному режиму. Применяется в случае, когда необходимо четкое положение рабочей насадки (рис. 1.4, б–з). Например, при выполнении штрабы в стене под электропроводку.

Пики (пикообразные зубила) (рис. 1.4, а) рекомендуются для использования в твердых материалах, таких как бетон. Здесь вся ударная энергия сконцентрирована в одной точке и создает самую высокую производительность съема материала с помощью расклинивающего действия. В этом случае заострение означает скалывание, разбивание или отламывание [8].

Плоские зубила (рис. 1.4, б), прежде всего, используются для более мягких типов камня, таких как кирпич, мягкий силикатный кирпич и т. п. Благодаря наличию у зубила режущей кромки ударная энергия более эффективно распределяется в этих материалах [8].



*Рис. 1.4. Ударные насадки с хвостовиком SDS-plus: а – пикообразное зубило; б – плоское зубило; в – лопаточное зубило; г – зубило для снятия керамической плитки; д – полукруглое зубило; е – зубило с отвалом/канальное зубило; ж – долото (стамеска); з – стыковое зубило с твердосплавными вставками; и – костыльная кувалда*

Лопаточное зубило (рис. 1.4, в). Широкие плоские зубила используются для выламывания и разрыхления почвы, бесшовного пола и асфальта или для сбивания штукатурки со стен или каменной кладки. Широкая поперечная режущая кромка длиной от 50 до 110 мм дает возможность выполнять высокоэффективное долбление и скалывание в легких строительных материалах, таких как пемзобетонные блоки, пустотелые кирпичи или штукатурка. Лопаточное зубило со-

ответствующей ширины в зависимости от твердости строительного раствора может также быть использовано для снятия плитки.

Зубило для плитки (рис. 1.4, г). Это зубило предназначено для снятия плитки (с эргономично смещенной поперечной режущей кромкой) [8].

Полукруглые зубила (рис. 1.4, д). Эти типы полукруглых зубил используются для прорезания канавок или прорезей для газовых, водяных линий и линий электропитания в различных материалах (исключения: гранит и мрамор). Полукруглые зубила с прямыми лезвиями лучше использовать для более мягких строительных материалов. Небольшой изгиб облегчает возможность верхней части полукруглого зубила сохранять постоянной глубину прорези [8]. Разновидность полукруглого зубила – зубило с отвалом (канальное зубило) (рис. 1.4, е), отвал позволяет поддерживать постоянную глубину канала.

Стыковое зубило с твердосплавными вставками (рис. 1.4, з) может применяться для зачистки швов в кирпичной кладке или удаления раствора из кирпичной кладки при извлечении кирпичей.

Долото (стамеска) (рис. 1.4, ж), предназначено для универсальных плотницких работ, быстрого удаления древесины мягких пород, например, старых оконных рам.

Для выполнения большого объема пробивных работ, а также для выполнения отверстий большого диаметра или длины применяются тяжелые перфораторы, разработанные под стандарт насадок с хвостовиком SDS-max (рис. 1.5).

### **Преимущества электрического перфоратора *Bosch GBH 11 DE Professional***

Мощный универсальный перфоратор для быстрого сверления и долбления. Максимальная производительность сверления благодаря оптимизированному ударному механизму и двигателю высокой мощности. Ударный механизм с низким уровнем вибрации для неустойчивой работы. Долгий срок службы за счет использования высококачественных материалов и деталей из пластмассы, армированного стекловолокном пластика, алюминия и прецизионных деталей из стали. Предохранительная муфта для защиты пользователя и самого инструмента. Константная электроника с регулировочным колесиком для предварительной установки частоты вращения, частоты/силы ударов. Сервисный дисплей своевременно показывает время замены щеток. Фиксация зубила в 12 угловых положениях. Оптимальная пылеизоляция патрона, а также решетка воздухозаборника нового типа обеспечивают долгий срок службы. Патрон SDS-max для быстрой и

надежной фиксации рабочего инструмента, быстрая передача крутящего момента, со встроенной пылезащитой. Основные технические характеристики представлены в таблице 1.2.



Рис. 1.5. Перфоратор с патроном SDS-max GBH 11 DE Professional фирмы Bosch [6]

Таблица 1.2

### Технические характеристики GBH 11 DE Professional

Параметр	Значение
Номинальная потребляемая мощность	1500 Вт
Макс. энергия единичного удара	14,2 Дж
Число ударов при номинальном числе оборотов	1100–2250 уд/мин
Номинальное число оборотов	120–250 об/мин
Вес	11,1 кг
Длина	595 мм
Высота	280 мм
Патрон	SDS-max
Диапазон сверления	
Диаметр отверстия в бетоне при сверлении ударными сверлами	12–52 мм
Оптимальный диапазон сверления в бетоне с использованием ударных сверл	30–52 мм
Диаметр отверстия в бетоне при сверлении бурами для проделывания проемов	45–80 мм
Диаметр отверстия в бетоне при сверлении полыми сверлильными коронками	40–150 мм

Для получения глухих и сквозных отверстий круглой формы в различных строительных основаниях для закрепления электроконст-

рукций или прокладки кабельных линий, трубопроводов и пр. применяются – ударные сверла (буры) различной длины и диаметра с хвостовиком SDS-max (рис. 1.6, а–г), в основном конструкция и назначение этих буров аналогична бурам SDS-plus, но в силу больших размеров и больших передаваемых через бур ударных нагрузок имеются отличия в виде усиленной конструкции и четырех режущих кромок (рис. 1.6, а).



*Рис. 1.6. Насадки для перфоратора с хвостовиком SDS-max фирмы Bosch для ударного сверления [6]: а – ударное сверло SDS-max-4, для неармированного и армированного бетона, кирпичной кладки ( $d$  – от 16 до 40 мм, L1 – от 200 до 400 мм, L2 – от 340 до 540 мм); б – ударное сверло SDS-max-7, для неармированного и армированного бетона, силикатного кирпича, кирпичной кладки ( $d$  – от 12 до 52 мм, L1 – от 200 до 1200 мм, L2 – от 340 до 1340 мм); в – ударное сверло SDS-max-9 NaturalStone, для обработки натурального камня ( $d$  – от 28 до 32 мм, L1 – от 400 до 800 мм, L2 – от 520 до 920 мм); г – ударное сверло SDS-max-9 BreakThrough, для отверстий  $\varnothing$  45–80 мм в бетоне, кирпичной кладке и силикатном кирпиче, например для внешних подсоединений кабелей и трубопроводов (цельное сверло с колоколообразной формой сверлильной головки с асимметрично расположенными твердосплавными вставками и центрирующей твердосплавной режущей пластиной, большая подающая спираль, конический хвостовик) ( $d$  – от 45 до 80 мм, L1 – от 400 до 800 мм, L2 – от 600 до 1000 мм)*

Спиральный бур (рис. 1.6, б) используется для сверления отверстий с диаметрами от 12 до 52 мм и глубиной от 150 до 850 мм. Стружечная канавка специальной формы обеспечивает быструю и надежную транспортировку сверлильной пыли. Спиральные буры доступны

с двумя или четырьмя режущими кромками (головка quadro-X). Оснастка с четырьмя режущими кромками предназначена:

- для хорошего центрирования и точного предварительного сверления;
- обеспечения высокой производительности сверления, что в результате сокращает время сверления;
- точное ведение в высверленном отверстии без зацепов;
- повышенная плавность работы и уменьшенная вибрация;
- длительный срок службы, даже при попадании на арматуру;
- высокая точность во время сверления отверстий для выполнения соединений.

Буры для проделывания проемов (рис. 1.6, г) имеют очень короткую стружечную канавку, и поэтому их тенденция к заклиниванию уменьшается во время сверления глубоких сквозных отверстий. Снижение трения в высверленном отверстии обеспечивает более быстрое выполнение работы. Так как удаление сверильной пыли затруднено из-за короткой стружечной канавки, этот бур, как говорит его название, специально предназначен для проделывания сквозных, а не глухих отверстий. Стандартные диаметры буров колеблются от 45 до 80 мм при глубине от 500 до 850 мм.

Сверильные коронки SDS-max-9 CoreCutter (рис 1.7, а–г), используются для сверления неглубоких отверстий для коробок в кабелепроводе и распределительных коробок. Оставшуюся центральную часть удаляют вручную. Диаметры сверления колеблются от 45 до 150 мм при глубине до 100 мм.

Сверильные коронки SDS-max-9 CoreCutter может быть составной (рис 1.7, а–в) или неразъемной (рис 1.7, г). Цельное исполнение гарантирует оптимальную передачу удара, высокую производительность при одновременно плавном ходе за счет асимметричного расположения зубьев.

Иногда при выполнении электромонтажных работ требуется уплотнить грунт или подготовить к монтажу неровное строительное основание, для этого можно использовать трамбовочные пластины (рис. 1.8, б) или отбойные пластины (рис. 1.8, в). Данные приспособления применяются совместно с зажимом для отбойных и трамбовочных пластин (рис. 1.8, а).



*Рис. 1.7. Основные насадки для перфоратора с хвостовиком SDS-max фирмы Bosch для ударного сверления [6]:*

*а – адаптер для кольцевых сверл SDS-max-9 CoreCutter;*

*б – центрирующее сверло ( $d = 11,5$  мм,  $L1 = 84$  мм,  $L2 = 136$  мм);*

*в – полая сверлильная коронка SDS-max-9 CoreCutter ( $d$  – от 45 до 150 мм,  $L1 = 80$  мм, число режущих кромок от 6 до 13 шт.);*

*г – полая сверлильная коронка SDS-max-9 CoreCutter неразъемная ( $d$  – от 45 до 150 мм,  $L1$  – от 160 до 420 мм,  $L2$  – от 290 до 550 мм, число режущих кромок от 6 до 13 шт.)*

Трамбовочные пластины (рис. 1.8, б) используются для небольших работ по уплотнению (песка, гравия, трамбованного бетона или тяжелых почв). Трамбовочная пластина крепится с помощью конического приспособления для крепления оснастки (рис. 1.8, а). Максимально возможная глубина уплотнения достигается при помощи малой трамбовочной пластины.

Отбойные пластины (рис. 1.8, в) используются для придания шероховатости или выравнивания поверхностей из бетона, искусственного или природного камня. Структура поверхности зависит от количества зубьев и длительности обработки, а также от силы отдельных ударных воздействий. Отбойная пластина крепится с помощью конического приспособления для крепления оснастки.



*Рис. 1.8. Насадки SDS-max для перфораторов тяжелого класса: а – зажим для отбойных и трамбовочных пластин (L2 – 220 мм); б – трамбовочная пластина (120 × 120 мм или 150 × 150 мм); в – твердосплавная отбойная пластина (50 × 50 мм, количество твердосплавных зубьев 5 × 5 шт.); г – фреза для бетона Drebo SDS-max (d – от 40 до 80 мм, L2 – от 310 до 990 мм) [9]*

Так как происходит удаление незначительного слоя каменной поверхности, отбойные пластины могут быть использованы на твердых подслоях для снятия слоев краски, содержащей каучук.

Фреза для бетона Drebo SDS-max – это современный инструмент для профессионального применения (рис. 1.8, г). Разработанный специально для нового поколения мощных перфораторов, этот монолитный инструмент гарантирует эффективную работу в течение длительного времени. Фреза эффективна и удобна в применении благодаря монолитной конструкции. Не требует использования адаптеров и центрирующих сверл.

Уникальная конструкция головки фрезы обеспечивает ей значительные преимущества по сравнению с обычным инструментом:

- точное накернивание;
- быстрое продвижение в материале за счет пластин из твердого сплава в форме зубила;
- дополнительные зубцы служат для высверливания всего отверстия, выдалбливать содержимое после сверления не требуется;
- равномерный отвод крошки благодаря широким виткам спирали;
- долгий срок службы;
- малый вес и незначительная вибрация;
- монолитная конструкция осуществляет передачу энергии удара без потерь;
- ровное, круглое отверстие;
- быстрое прохождение арматуры.

Для выборки борозд под скрытые электропроводки в кирпичных, гипсолитовых и им подобных основаниях применяют электрические бороздоделы (рис. 1.9): основной рабочий орган – дисковая фреза с зубьями. Например, японская фирма Hitachi выпускает модели CM7MRU мощностью 2000 Вт со скоростью вращения 6600 об/мин на максимальную глубину и ширину реза 35, 45 мм соответственно, диаметром дисковой фрезы 180 мм [4].



*Рис. 1.9. Бороздодел Hitachi CM7MRU*

Для работы с ручным электроинструментом допускаются обученные лица не моложе 18 лет, имеющие II квалификационную группу по электробезопасности и получившие удостоверение.

Персонал, работающий с электроинструментом, обязан выполнять следующие требования [1]:

- запрещается работать без очков, с приставных лестниц, под дождем, ремонтировать и передавать инструмент другому лицу, оставлять или переносить его во включенном состоянии;
- перед включением в электрическую сеть проверить исправность электроинструмента.

При осмотре и проверке электроинструмента до включения в сеть необходимо убедиться в исправности всех его составных частей и сборочных единиц. Шпиндель редуктора должен легко и без шума проворачиваться усилием руки.

Отверткой или ключом проверяют затяжку винтов, крепящих узлы и детали. Мегомметром проверяют сопротивление питающих проводов. При отключенном положении выключателя электроинструмента мегомметр должен показывать не менее 0,5 МОм, при включенном – нуль.

При измерении сопротивления изоляции один зажим мегомметра 3 (земля) присоединяют к металлической части корпуса электроинструмента, другой зажим Л (линия) – поочередно к каждому из выводов вилки. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

**Пороховые инструменты** [1, 2]. К ним относятся ручные инструменты, где в качестве источника энергии применяют патроны с пороховым зарядом. Такие инструменты предназначены для забивки дюбелей из термически обработанной стали в бетонные, кирпичные и металлические основания.

Строительные пистолеты обоснованно применяются там, где необходим монтаж деталей или крепежных элементов к основаниям из металла, железобетона, бетона и полнотелого кирпича, гипсокартона, а закрепить иным способом эти детали проблематично либо сверхтрудоемко [9]. Такое крепление на прочных основаниях называется технологией прямого монтажа (ТПМ). Но существуют основания с которыми ТПМ недопустима. Это чугун, керамика, стекло, гранит. Также не допустима работа с основаниями из мягких материалов – пластик, ДСП и дерево.

На рынке пороховой инструмент представлен образцами российского производства – Пороховые монтажные пистолеты ПЦ-84, ПЦ-08, ПМТ-1, ПМТ-3 – Тульского оружейного завода, МЦ-52 – «Завод спецоснастки», зарубежного производства – пороховые строительные пистолеты Spit P60, Spit P230, автоматические строительные

пистолеты Spit P370 SPITFIRE, Spit P560 SPITFIRE, и пр.– фирмы SPIT (Франция), пороховые монтажные пистолеты Hilti DX 76 MX, Hilti DX 460 MX, Hilti DX 460-IE – фирмы HILTI (Лихтенштейн), пороховые монтажные пистолеты ППМ-301Е, ППМ-603 – фирмы ARMIRO (Голландия) [9, 10, 11].

Строительно-монтажные пистолеты можно разделить на однозарядные, многозарядные с ручной подачей гвоздей и полностью автоматические. Несколько десятилетий подряд выпускается «ветеран» строительного фронта – монтажный пистолет ПЦ-84 (рис. 1.10, а). К его достоинствам следует отнести невысокую стоимость, мощность и надежность. К недостаткам – малую производительность и большой вес. Модели ПМТ-1 и ПМТ-3 имеют магазин на 10 патронов, зарядание дюбелей – ручное (рис. 1.10 б).

Компания SPIT (Франция) [10], занимает лидирующее положение на рынке крепежных инструментов, а именно в секторе строительно-монтажных пистолетов. Пистолет SPIT P60 (рис. 1.10, г) выполняет общестроительные работы по креплению металлических элементов к бетону и стали. Весит всего 2,2 кг. Работает с патронами желтой и коричневой маркировки. Имеет 8 уровней регулировки мощности выстрела. Дополнительные принадлежности обеспечивают совместимость с большим количеством дюбелей SPIT.

Автоматический пистолет SPIT P560 (рис. 1.10, д) предназначен для монтажно-кровельных работ. Удобен для работы в труднодоступных местах. Имеет небольшой вес и высокую скорострельность до 600 выстрелов в час. Обладает высокой энергией выстрела до 560 Дж. Магазин пистолета рассчитан на 10 дюбелей. Выполняет крепление профилированного листа к стальным балкам толщиной от 3 мм. Мощность выстрела регулируется цветом применяемого патрона или уровнем заглубления.

Модель SPIT P370 SPITFIRE (рис. 1.10, е) самая легкая – вес с магазином – 3,2 кг. Полностью автоматический – 10 патронов на 10 дюбель-гвоздей. Регулировка мощности выстрела производится колесиком на корпусе пистолета. Специальная конструкция тыловой ручки обеспечивает поглощение энергии при выстреле, тем самым уменьшая величину отдачи и создавая комфорт в работе. В пистолете имеются маркеры информирующие работника о наличии порохового диска с патронами в инструменте и моменте перезарядки инструмента. Длина используемых гвоздей от 15 до 90 мм.



*Рис. 1.10. Пороховой инструмент Российского и зарубежного производства: а – пороховой монтажный пистолет ПЦ-84; б – пороховые монтажные пистолеты ПМТ-3 и ПМТ-1; в – автоматический строительный пистолет Hilti DX 460 MX; г – пороховой строительный пистолет Spit P60; д – автоматический строительный пистолет Spit P560, е – автоматический строительный пистолет Spit P560 [11]*

Принцип работы порохового монтажного пистолета заключается в следующем (рис. 1.11, а): дюбель-гвоздь или дюбель-винт 1 вставляют в направляющую пистолета 2, а в ствол 3 с подвижным поршнем 4 заряжают патрон 5. На строительное основание 9 устанавливают монтажное изделие 8 и прижимают к основанию прижимом 7, при помощи спускового механизма 6 осуществляется выстрел. Пороховые газы в канале ствола 3 разгоняют поршень 4, он ударяет по дюбелю 1 и забивает его.

Аналогично работает ударная пороховая колонка УК-6 (рис. 1.11, б) с той только разницей, что поршень 4 выполнен как одно целое с пробойником 10, которым делают отверстия в бетонных перекрытиях толщиной до 50 мм.

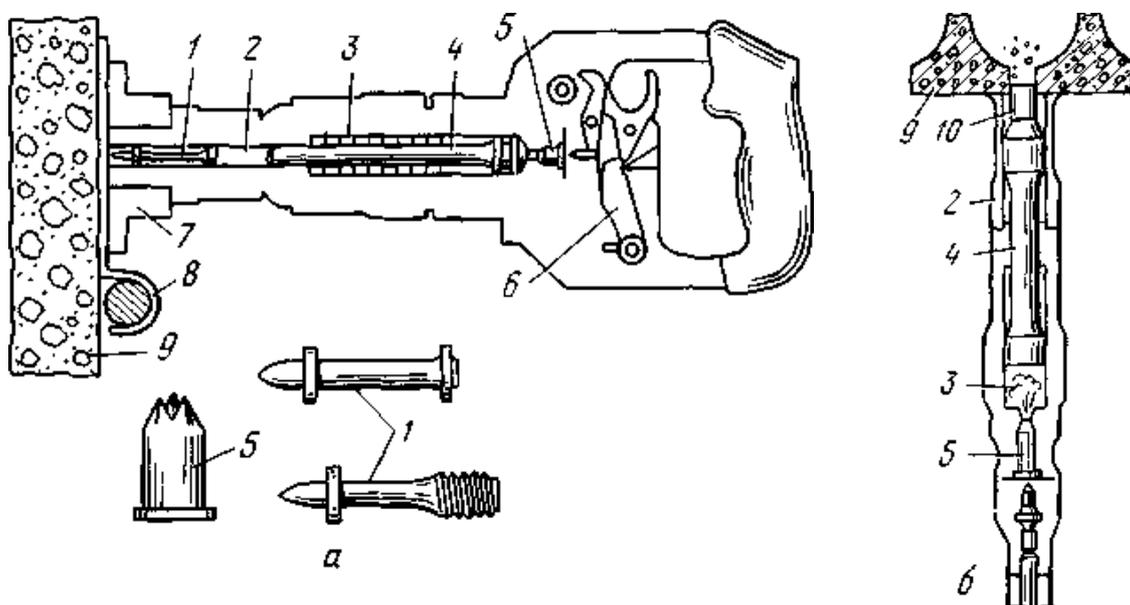


Рис. 1.11. Устройство пороховых инструментов:  
 а – монтажный поршневой пистолет ПЦ-84;  
 б – ударная пороховая колонка УК-6

К работе со строительно-монтажными пистолетами могут быть допущены рабочие не моложе 18 лет, прошедшие специальное обучение и изучившие инструкцию по эксплуатации данного инструмента. При выполнении монтажных работ обязательно наличие противошумных наушников и каски с защитным козырьком.

Инженерно-технические работники (ИТР) должны быть обучены и аттестованы на право руководства работами с применением пороховых инструментов.

Запрещается крепить дюбелями конструкции, подверженные вибрации и динамическим нагрузкам; вести пристрелку в присутствии посторонних лиц; оставлять или переносить пистолет в заряженном состоянии; передавать пистолет посторонним.

**Крепление электроконструкций пороховым инструментом** [1, 2]. До начала работ ИТР (мастер) обязан осмотреть рабочее место, проинструктировать рабочих и обеспечить инвентарем, проверить наличие индивидуальных средств защиты и соблюдение правил безопасности.

При разметке места закрепления электроконструкций необходимо: изучить чертеж и определить способ крепления; определить материал строительного основания (бетон, кирпич, марка стали и т. п.), выбрать тип дюбеля и патрона; при помощи шаблона разметить точки крепления; в железобетонных основаниях определить места расположения арматуры арматуроискателем типа ИА-25.

Оператор, выполняющий монтаж, должен работать в специальной одежде, в рукавицах, в каске, с противошумными наушниками. Лицо должно быть защищено маской из небьющегося стекла, на поясе подвешивают сумки для патронов и дюбелей, на пистолете обязательно закрепляют прижим.

**Крепление забивными дюбелями.** Несъемные конструкции крепят к бетонным и кирпичным основаниям при помощи пистолета ПЦ-84 (ПЦ-08, ПМТ-1, ПМТ-3, МЦ-52) забиванием дюбель-гвоздей типа ДГП размерами от 3,7×20 до 6,8×100 мм; к стальным основаниям дюбель-гвоздями типа ДГН.

Съемные конструкции по бетону крепят дюбель-винтами типа ДВ размером от М4×35 до М10×60 мм, по стали – дюбель-винтами типа ДВН.

Производители порохового инструмента постоянно расширяют ассортимент дюбель-гвоздей (табл. 1.3, 1–8), дюбель-винтов (табл. 1.3, 9).

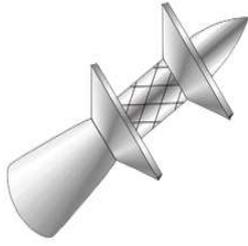
Строительные патроны для строительного монтажного пистолета различаются по мощности – имеют различную цветовую маркировку и размеры (Российские и зарубежные производители) (табл. 1.3, 10–12).

Таблица 1.3

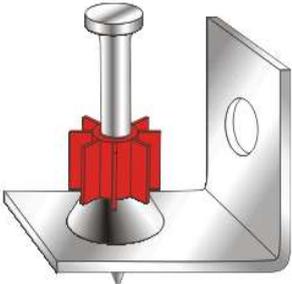
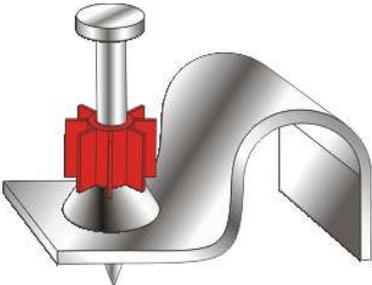
### Расходные материалы для строительномонтажных пистолетов

Но- мер	Наименование (назначение)	Изображение	Характеристика (применимость с инструментом)
1	2	3	4
1	Дюбель-гвоздь типа ДГП (по бе- тону и кирпичу)		d шайбы – 12 мм; d гвоздя – 3,7 или 6,8; l гвоздя – 30 – 100 мм. (ПЦ-84, ПЦ-08, ПММ-603)

Продолжение табл. 1.3

1	2	3	4
2	Дюбель-гвоздь типа HDD (по металлу)		<p>d шайбы – 10 мм;                      l гвоздя – 13 – 32 мм.                      (ПЦ-84,ППМ-603)</p>
3	Дюбель-гвоздь типа НУД (по металлу)		<p>d шайбы – 8 мм;                      l гвоздя – 13 – 22 мм.                      (ARMIRO PA700,                      ППМ603, ППМ301,                      ППМ307, HILTI: DX-36,                      DX-A40, DX-A41,                      DX-350, DX-351, DX-450,                      DX-460)</p>
4	Дюбель для профнастила ENP8 (для монтажа профилированного листа к стальным строительным конструкциям)		<p>d шайбы – 14,2 мм;                      d шляпки – 8 мм;                      d ножки – 4 мм;                      l гвоздя – 20 мм                      (ARMIRO PA700,                      ППМ603, HILTI: DX-36,                      DX-A40, DX-A41, DX-350,                      DX-351, DX-450,                      DX-460)</p>
5	Дюбель-гвоздь КРЕНР (для монтажа профилированного листа к стальным строительным конструкциям)		<p>d шайбы – 14 мм;                      l гвоздя – 22 или 25 мм.                      (HILTI: DX-76, Spit P230,                      Spit P560)</p>
6	Дюбель-гвоздь для тонких стальных листов (монтаж тонких стальных листов к конструкциям из стали или бетона)		<p>l гвоздя – 16, 25, 32 мм.                      (ППМ307, ППМ301,                      ППМ603, PA700, HILTI:                      DX-36, DX-A40, DX-A41,                      DX-350, DX-351, DX-460)</p>

Продолжение табл. 1.3

1	2	3	4
7	Дюбель-гвоздь КРРДС для подвесных конструкций (монтаж подвесных конструкций)		<i>l</i> гвоздя – 21–32 мм <i>d</i> трубы – от 1/2 до 1 дюйма; (ППМ307, ППМ301, ППМ603)
8	Дюбель-гвоздь КРРДСС для монтажа электропроводки (монтаж гибких труб для электропроводки)		<i>l</i> гвоздя – 27, 32 мм (ППМ307, ППМ301, ППМ603)
9	Дюбель-винт с резьбовой шпилькой (по металлу)		<i>d</i> шайбы – 10 или 12 мм; <i>d</i> резьбы – М6, М8, М10; <i>l</i> ножки – 11 – 32 мм; <i>l</i> резьбы – 10 – 32 мм; (ППМ-307, ППМ-603)
10	Строительный патрон (различается цветовой маркировкой в зависимости от энергоотдачи)		6,8×18 мм; Д1 белый – 400 Дж; Д2 желтый – 500 Дж; Д3 синий – 600 Дж; Д4 красный – 700 Дж; Д5 черный – 800 Дж; (ПЦ-84, ПЦ-08, ППМ-603, ППМ307, ППМ301, ППМ603)
11	Строительный патрон SPIT (различается цветовой маркировкой в зависимости от энергоотдачи)		6,3×10 (барaban 10 шт.) коричневые – очень слабые; зеленые – слабые; желтые – средние; синие – мощные; красные – очень мощные; черные – сверхмощные. (SpitP60, SpitP230, SpitP370, SpitP560)

1	2	3	4
12	Строительный патрон HILTI (различается цветовой маркировкой в зависимости от энергоотдачи)		6,8×11 (лента 10 шт.) зеленые – слабые; желтые – средне-легкая; красные – высокая мощность; черные – сверхвысокая мощность. (HILTI: DX-36, DX-A40, DX-A41, DX-350, DX-351, DX-450, DX-460)

**Крепление к закладным деталям.** Закладные детали устанавливают в строительные основания: при кладке кирпича (рис. 1.12), при бетонировании или изготовлении железобетонных изделий на заводах.

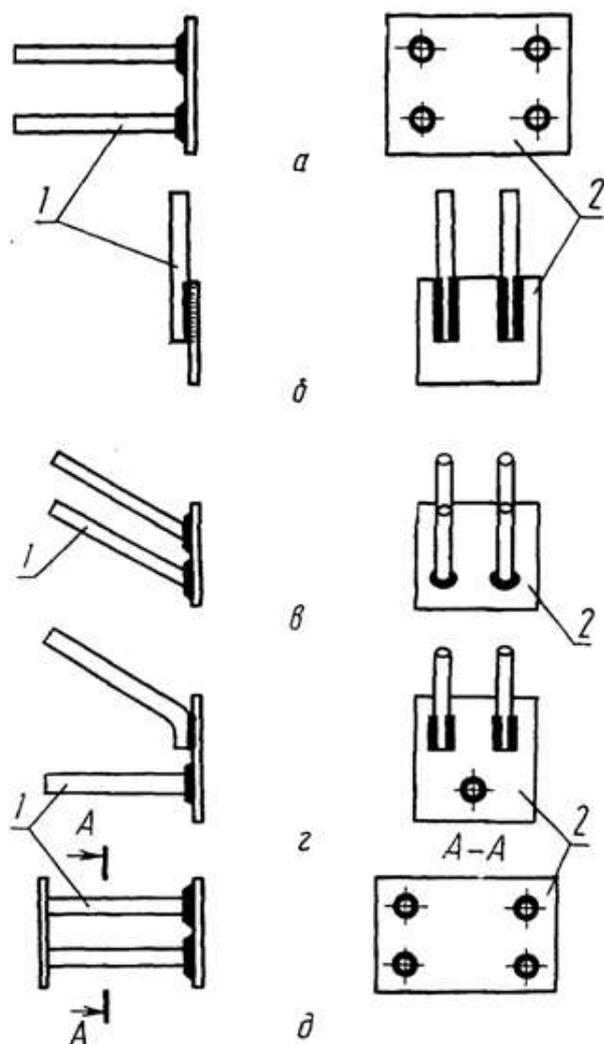


Рис. 1.12. Основные виды закладных деталей:

открытого типа:

а – анкеры – перпендикулярные стержни;

б – анкеры – параллельные стержни;

в – анкеры с наклонным расположением параллельных стержней;

г – анкеры со смешанным расположением (перпендикулярным и наклонным расположением стержней);

закрытого типа:

д – анкеры с перпендикулярными стержнями.

1 – анкеры (арматурная сталь);

2 – пластина закладной детали

Закладные детали представляют собой функциональные элементы, которые предназначены для фиксации соединений, изделий, конструкций в строительстве. Для производства закладных деталей используется листовая, полосовая, уголковая, швеллерная или арматурная сталь. Закладная деталь имеет в своем основании пластину, к которой крепятся анкерные стержни прямой или изогнутой формы (рис. 1.12).

При возведении бетонных и железобетонных конструкций использование металлических деталей позволяет укрепить сооружение, правильно организовать обрамления и опоры. Закладные детали нашли применение при прокладке трубопроводов через стены и перекрытия. Металлический каркас позволяет повысить нагрузку на сооружение во время эксплуатации. Благодаря применению закладных деталей, снижается вес конструкции, упрощается монтаж элементов здания [12] и последующего оборудования.

Продукция делится на закрытые и открытые закладные детали, которые отличаются сферой применения. В строительной сфере применяют изделия, которые отличаются по типу фиксации: сварное соединение; крепление с помощью анкерных болтов; фиксация с применением крюков, колец или плоских элементов.

Закладные детали могут иметь различную форму пластины: ромб, квадрат, прямоугольник, трапеция. Для повышения износостойкости металлоконструкции покрывают защитными составами, которые предупреждают развитие коррозионных процессов [12].

Электроконструкции крепят к закладным деталям непосредственно сваркой или через переходные элементы – скобы, планки на болтах. Закладные детали обеспечивают наиболее экономичное и надежное крепление элементов электроустановок.

**Крепление распорными дюбелями и анкерами.** В практике электромонтажных работ применяют пластмассовые распорные дюбели и металлические анкерные болты [9] (табл. 1.4).

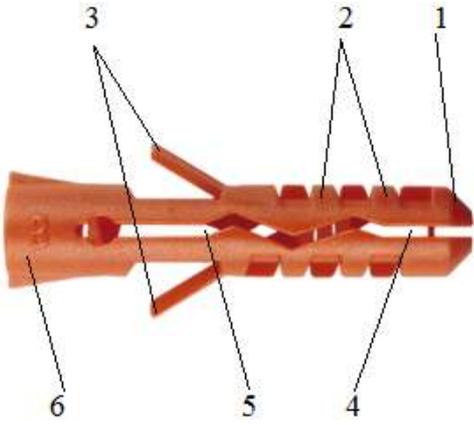
Пластмассовые распорные дюбели предназначены преимущественно для закрепления в твердых сплошных стеновых материалах. Основополагающий принцип крепления: сила трения, возникающая за счет распора дюбеля в отверстии при установке шурупа или винта (рис. 1.13, а, б), которая и создает удерживающую силу. Диапазон нагрузок – малые и средние статические.

В качестве материала используют различные виды пластмасс: нейлон, полиэтилен, полипропилен и др. Физико-механические свойства пластмасс изменяются в широких пределах и зависят от многих

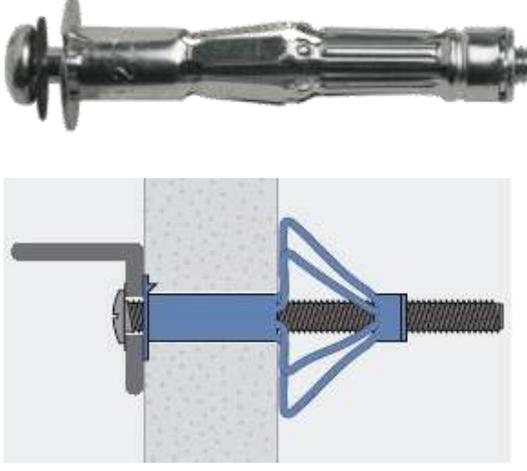
факторов: вида и марки наполнителя, вида и марки связующего, процентного содержания компонентов и пр. К недостаткам пластмасс следует отнести низкую теплостойкость, старение и высокую ползучесть (пластическую деформацию материала под действием нагрузки).

Таблица 1.4

### Основные виды распорных дюбелей и анкеров и их технические характеристики

Но- мер	Наименование/ назначение	Общий вид	Характеристика
1	2	3	4
1	Дюбель нейлоновый MN может использоваться с шурупами для дерева, ДСП и с метрической резьбой. Допускается использование в качестве крепежного элемента в большинстве строительных материалов. Изготовлен из высококачественного полиамида PA6. Сфера применения – предварительный** или сквозной* монтаж		d – 4–20 мм; L2 – 20–90 мм
2	Дюбель нейлоновый MQ Quattro предназначен для использования во всех видах строительных материалов. Благодаря наличию бортика, осуществляется контролируемая глубина установки. Дюбель выполнен из высококачественного полиамида PA6. Подходит для предварительного монтажа		d – 5–14 мм; L2 – 25–70 мм

1	2	3	4
3	<p>Дюбель многофункциональный МУ универсален в применении, благодаря способности сворачиваться в узел, он устанавливается даже в пустотелых материалах. Подходит как для монтажа заподлицо, так и для сквозного монтажа, поскольку отрывной бортик обеспечивает универсальность применения. Дюбель применяется в работах с шурупами для дерева, ДСП и с метрической резьбой</p>	 <p>The image shows five items: two orange plastic anchors with a central hole and a break-off edge, two silver metal screws with a hexagonal head, and one silver metal screw with a countersunk head. The orange anchors are shown in both their expanded and collapsed states.</p>	<p>d – 6–14 мм; L2 – 35–75 мм; размер шурупа с потайной головкой от 3,5×45 мм до 5×60 мм размер шурупа с шестигранной головкой от 6×80 мм до 10×90 мм</p>
4	<p>Дюбель-гвоздь МНА предназначен для сквозного монтажа. Отличается быстрой и простой установкой. Благодаря наличию специальной резьбы, осуществляется регулировка и демонтаж. Обладает повышенной несущей способностью дюбеля, за счет наличия увеличенной зоны раскрытия. Конструкция дюбеля выполнена из высококачественного полиамида РА6. Имеется 3 типа бортиков: потайной (S), цилиндрический (Z) и широкий (G) для различных видов работы</p>	 <p>The image shows two white plastic anchors. The top one has a cylindrical head with a small notch, and the bottom one has a wider, flat head. Both have a central hole and a break-off edge.</p>	<p>d – 5–10 мм; L2 – 25–160 мм</p>

1	2	3	4
5	<p>Дюбель Джет-плаг Mungo MJP представляет собой металлическую конструкцию и подходит для крепежа в гипсокартоне. Отличается легкой установкой. Исключает необходимость предварительного сверления. Наличие фиксатора исключает выкручивание дюбеля при выворачивании шурупа. Нет необходимости предварительного сверления, благодаря наличию сверлящего наконечника</p>		<p>d шурупа – 4,0–4,5 или болт М4; L2 – 25–39 мм.</p> <p>Джет-Плаг MJP39-S и MJP32-S в комплекте с шурупами с цилиндрической головкой.</p> <p>Имеет метрическую резьбу для хомутов</p>
6	<p>Анкер МНД для пустотелых конструкций отличается увеличенной несущей способностью, имеется головка для всех типов насадок. Подходит: для одиночного гипсокартона, для малой глубины полости, для предварительного монтажа. Поставляется в собранном виде</p>		<p>Размер винта: от М4×25 до М8×90; d – 8–12 мм</p>

1	2	3	4
7	<p>Складной пружинный анкер Mungo MF с резьбовой шпилькой, крюком или втулочной гайкой предназначен для крепления в пустотелых материалах. Обладает быстрой и простой установкой. Высокая пожароустойчивость. Подходит для сквозного монтажа. При креплении в пустотелых материалах – минимальная глубина полости 35 мм</p>		<p>Размер шпильки (крюка):                      М3 – М10                      L2 – 85–180 мм;                      d сверла                      11–30 мм;                      максимальная толщина материала                      50–150 мм;                      минимальная глубина полости                      35–90 мм</p>
8	<p>Анкер-болт m1 предназначен для предварительного или сквозного монтажа</p>		<p>d – 8–16 мм;                      L1 – 15–50 мм;                      L2 – 75–165 мм</p>
9	<p>Анкер для высоких нагрузок МКТ серии SL применяется для установки в сжатой зоне бетона и природном камне. Подходит для крепления статически нагруженных элементов конструкций: колонн, балок, связей. Используется для установки тяжелого оборудования</p>		<p>d – 8–28 мм;                      L1 – 53–165 мм;                      L2 – 69–212 мм.                      Резьба                      М6–М20</p>
10	<p>Забивные анкеры ESA для установки в армированный и неармированный бетон. Подходит для предварительного монтажа</p>		<p>d – 8–28 мм;                      L1 – 11–36 мм;                      L2 – 30–80 мм.                      Резьба                      М6–М20</p>

1	2	3	4
11	<p>Анкер-гильза МНА предназначен для сквозного монтажа. Обеспечивает минимальное расстояние от краев и между креплениями. Предназначен для внутреннего применения</p>		<p>d – 8 – 16 мм; L2 – 40–170 мм. Резьба М6–М12</p>
12	<p>Анкер-клин MAN подходит для быстрой ударной посадки в сплошных материалах, таких как: бетон, натуральный камень, полнотельный кирпич. Также рекомендован для монтажа легких подвесных потолков, поскольку может использоваться для монтажа над головой. Отличается высокой пожароустойчивостью. Быстрой и простой установке способствует минимальная глубина и диаметр бурения</p>		<p>d – 6 мм; L2 – 40, 70 мм</p>

\* сквозной монтаж – закрепление дюбеля (анкера) в отверстии осуществляется через закрепляемую деталь;

\*\* предварительный монтаж – сначала осуществляется закрепление дюбеля (анкера) в отверстии, потом крепится закрепляемая деталь.

Существует большое количество разнообразных конструкций распорных дюбелей. Наиболее удачные конструкторские решения повторяются различными производителями с внесением различных модификаций. Основные элементы распорного дюбеля можно рассмотреть на распорном дюбеле 1 в таблице 1.4 (1 – направляющий конус; 2 – упорные зубцы; 3 – стопорные элементы; 4 – сечение распорной части; 5 – внутренний осевой канал для шурупа; 6 – нераспорная часть).

Технология крепления. В строительном основании ударной электродрелью или электроперфоратором делают отверстие соответственно диаметру и длине дюбеля; выбирают типоразмер дюбеля и устанавливают его в отверстие заподлицо с основанием; устанавливают деталь, вставляют винт и закручивают его ключом или отверткой (рис. 1.13, а, б). Для повышения производительности крепежных работ, при больших объемах работ используют аккумуляторные дрели-шуруповёрты (рис. 1.14, а, б) с изменяемым крутящим моментом и набором насадок – бит (рис. 1.14, в–е).

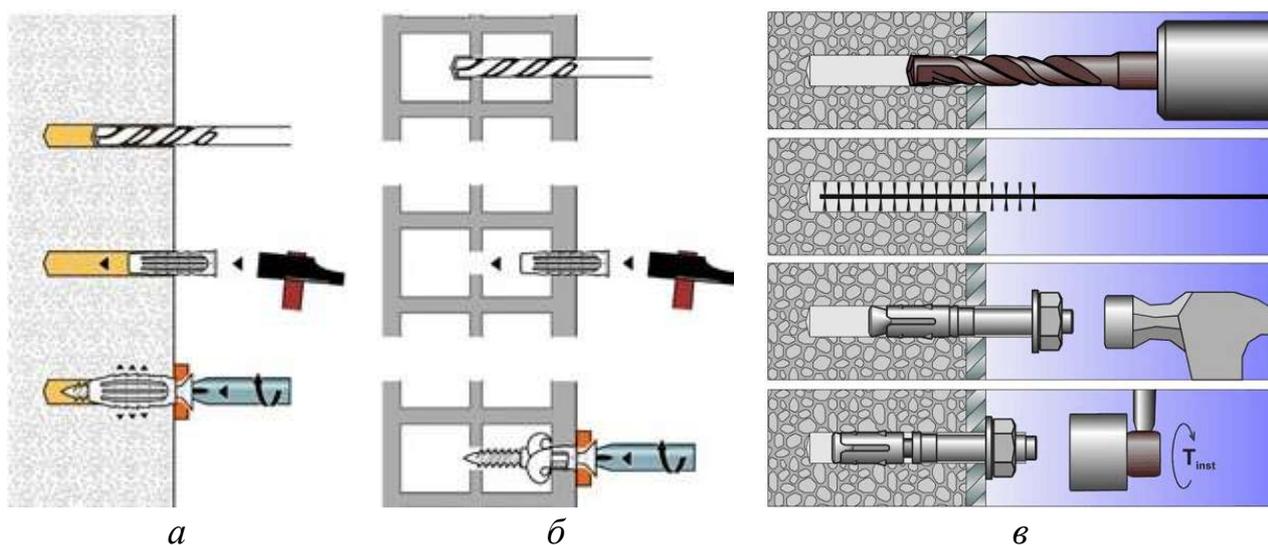


Рис. 1.13. Стадии монтажа распорных дюбелей и анкерных болтов: а – закрепление детали с помощью дюбеля в полнотелом основании; б – закрепление детали с помощью дюбеля в пустотелом основании; в – закрепление детали с помощью анкерного болта в полнотелом основании

Запрещается использовать для крепления электроконструкций деревянные пробки вместо дюбелей, а также забивать винты или шурупы в распорные дюбеля.

Металлические анкера (табл. 1.4, 8–12), используются для крепления в твердых строительных основаниях (кирпичная и каменная кладки, бетоны различной плотности) тяжелых, высоконагруженных конструкций и элементов. Это становится возможным за счет выбора анкеров соответствующей конструкции и размера.

Технология крепления металлическими анкерами схожа с технологией крепления распорными дюбелями, может отличаться в зависимости от конструкции анкеров.

Крепление элементов с помощью анкерного болта выполняется в следующей последовательности (рис. 1.13, в). В строительном основании электроперфоратором делают отверстие соответственно диаметру и длине анкера через отверстие в закрепляемой детали (сквозной монтаж); щеткой или струей воздуха очищают проделанное отверстие; забивают анкер в отверстие до упора шайбы с накрученной на все нитки гайкой в основание устанавливаемой детали, закручивают гайку ключом или торцевой головкой с трещоткой (рис. 1.13, в). При этом гайка, упираясь в основание закрепляемой детали, вытаскивает шпильку с клином на конце, который расклинивает в отверстии разрезную втулку. После монтажа можно открутить гайку и снять закрепленный элемент, анкер при этом удалить (без разрушения стены или анкера) не удастся.

Аккумуляторные дрели-шуруповёрты (рис. 1.14, а, б) отличаются от сетевого инструмента наличием съёмного аккумулятора (Ni-Cd, Ni-Mg, Li-Ion), напряжением, как правило, от 3,6 до 18 В, что позволяет выполнять работы вдали от источника энергии (электрической сети). Кроме того, шуруповёрты снабжены редуктором с предохранительной муфтой, которая позволяет изменять крутящий момент, что позволяет закручивать шурупы (винты) с различным усилием не допуская срыва (прокручивания шурупа в материале), и обеспечивая стабильное качество выполняемых работ.

Наличие двух- или трехскоростного редуктора позволяет закручивать шурупы различного размера с разным моментом затяжки, так и выполнять сверление в дереве и металле, при этом предохранительная муфта блокируется (режим сверления).

Аккумуляторная дрель-шуруповёрт BOSCH GSR (рис. 1.14, а) – имеет в комплекте 2 Li-Ion аккумулятора, емкостью 1,5 А/ч, напряжением 14,4 В; зарядное устройство для аккумулятора; максимальный крутящий момент 34 Нм; 2 скорости вращения – 450/1300 об/мин; быстросъемной патрон диаметром 10 мм; максимальный диаметр сверления в дереве – 30 мм, в стали – 10 мм; имеется подсветка рабочей зоны; вес 1,2 кг.



а



б



в



г



д



е

Рис. 1.14. Аккумуляторные дрели – шуруповерты: а – BOSCHGSR; б – MAKITADF330DWE, в – основные типы бит для шуруповерта (1 – плоский шлиц; 2 – Ph (Philips); 3 – Pz (Pozidrive); 4 – Шестигранник (HEX); 5 – Звездочка (TORX)); г – магнитный переходник для бит; д – набор 12-гранных головок с креплением под квадрат; е – переходник шестигранник – квадрат

Аккумуляторная дрель-шуруповерт МАКИТАДФ330DWE (рис. 1.14, б) имеет 2 Li-Ion аккумулятора, емкостью 1,3 А/ч, напряжением 10,8 В; зарядное устройство для аккумулятора; максимальный крутящий момент 24 Нм; 2 скорости вращения – 350/1300 об/мин; быстросъемной патрон диаметром 10 мм; максимальный диаметр сверления в дереве – 21 мм, в стали – 10 мм; вес 1 кг.

Когда-то было все просто: плоская отвертка, крестовая отвертка и набор гаечных ключей под шестигранные гайку/болт. Сейчас, глядя на комплекты бит для шуруповерта, разбегаются глаза. Впрочем, в повседневной жизни наиболее ходовыми все равно являются лишь несколько видов бит.

Можно выделить всего 5 основных типов бит, не смотря на большой выбор производителей: прямой (плоский) шлиц, крестовый Ph, крестовый Pz, внутренний шестигранник, внутренняя звездочка (рис 1.14 в) [13].

Прямой шлиц – это самый классический вид: надрез в головке винта или шурупа под плоскую отвертку. Друг от друга отличаются только глубиной и шириной пропила (рис. 1.14, в-1).

Далее по распространенности следует крестовое сечение стандарта Philips или по названию маркировки Ph. Из советского прошлого могут встретиться крестовые шлицы, которые несколько отличны от этого стандарта, но практически под любой из них можно подобрать наиболее подходящую битку. По стандарту же Ph подразумевает крестообразный шлиц, под углом к вершине 55 градусов. Боковая рабочая поверхность креста не прямая, а немного сужающаяся к концу. В наборах маркируются обычно как Ph1, Ph2, Ph3, что соответствует их размеру (рис. 1.14, в-2).

Следом идет крестовое сечение Pozidrive или Pz, которое напоминает Ph, но имеет дополнительные насечки на головке самореза и соответственно дополнительные усики на цевье отвертки или биты. Кроме того, боковая рабочая поверхность у Pz в отличие от Ph имеет одинаковую толщину по всей длине, а не сужаются к концу. Отличается также угол при вершине – он составляет 50 градусов. Этот вид сечения имеет более слабый выталкивающий момент чем у Ph и позволяют прилагать большее усилие и передавать больший крутящий момент (рис. 1.14, в-3).

Следующий вид сечения – это внутренний шестигранник (HEX), который чаще всего используется в мебельных шурупах-стяжках (рис. 1.14, в-4). Используются на винтах для работ с высоким вращающим моментом.

Сечение – звездочка (TORX) чаще всего используются на винтах или для работ с высоким вращающим моментом (рис. 1.14, в-5) [13]. Менее распространено, чем шестигранник, что обеспечивает определенную сложность в работе. Винты с головкой под TORX используются некоторыми производителями оборудования, с целью ограничить нежелательный доступ к внутреннему содержимому.

Магнитный переходник для бит (рис. 1.14, г) применяется для быстрой смены бит при работе с шурупами имеющими головки с различным сечением или размером.

Для закручивания (откручивания) гаек и болтов с шестигранными головками, используют накидные головки с шестигранным или двенадцатигранным сечением (рис. 1.14, д), при этом необходимо использовать специальный переходник шестигранник – квадрат (рис. 1.14, е), так как головки имеют крепление к инструменту квадратного сечения на 1/4, 1/2, 3/4 дюйма.

**Крепление алебастровым раствором.** Применяют для крепления деталей массой до 5 кг при малых объемах работ и отсутствии средств механизации. Алебастровым раствором закрепляются также подрозетники, распаечные и ответвительные коробки скрытой электропроводки в сверленных отверстиях, выполненных полыми сверлильными коронками.

Этот способ крепления является трудоемким, но в ряде случаев он находит применение, например тогда, когда упущены закладные части или не могут быть применены дюбели для крепления тяжелых аппаратов.

Принцип крепления основан на быстром твердении алебастрового раствора в отверстиях строительного основания с крепежной деталью.

Технология крепления: заготовить отверстие, удалить пыль и промыть его водой; размешать в гипсовке (мелкой и широкой емкости объемом 0,6–1 литр) алебастр и воду (на 100 г алебастра 40–70 г воды). Весь раствор использовать за 4–6 мин (через 10–15 минут раствор схватывается, и становится непригодным для дальнейшего использования); заполнить отверстие раствором на 1/4 глубины и установить деталь; уплотнить и разровнять раствор вокруг детали, через 15–20 мин зачистить заподлицо с основанием. Алебастр полностью затвердевает через 1–1,5 ч.

### **Порядок выполнения работы**

1. В соответствии индивидуальным заданием вычертите эскиз электропроводки с элементами крепления и составьте указания по монтажу.

2. Составьте заявку на материалы и инструменты для монтажа узла крепления по заданию.

3. Составьте протокол измерения сопротивления изоляции инструмента и кабеля.

4. Закрепите к основанию электроконструкцию предложенным преподавателем способом.

### **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Эскиз электропроводки с элементами крепления и указаниями по монтажу.
3. Заявка на материалы и инструмент для монтажа узла крепления.
4. Протокол измерения сопротивления изоляции инструмента и кабеля.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите способы крепления электроконструкций.
2. Какие существуют средства механизации крепежных и пробивных работ?
3. Расскажите правила проверки и работы с электрифицированным инструментом.
4. Укажите основные операции, которые можно выполнить ударной электродрелью.
5. В чем конструктивные отличия сверл для ударной электродрели?
6. Укажите основные операции, которые можно выполнить перфоратором.
7. Какие виды оснастки используются для перфоратора с системой крепления SDS-plus?
8. В чем отличие электродрели ударного действия от перфоратора?
9. Чем различаются стандарты SDS-plus, SDS-top и SDS-max?
10. Назначение и область применения полых сверлильных коронок SDS-plus и SDS-max.
11. Назначение трамбовочных и отбойных пластин.
12. В чем заключаются преимущества фрезы для бетона Drebo SDS-max?
13. Расскажите технологию штрабления кирпичной стены под электропроводку канальным зубилом.

14. Расскажите технологию штрабления оштукатуренной кирпичной стены под электропроводку борзододелом.
15. Область применения порохового инструмента для крепления электроконструкций.
16. Разновидности забивных дюбелей, область их применения.
17. Чем различаются строительные патроны для порохового инструмента?
18. Как выбирается мощность строительного патрона для различных видов работ?
19. Расскажите правила работы с пороховым инструментом.
20. Технология крепления электроконструкций к закладным деталям.
21. Опишите технологию крепления электроконструкций распорными пластмассовыми дюбелями и металлическими анкерами.
22. Области применения распорных дюбелей, металлических анкеров.
23. Назначение и область применения аккумуляторных шуруповертов.
24. Основные типы бит для шуруповертов.
25. Технология крепления деталей алебастровым раствором.

### **Библиографический список**

1. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. для вузов / И.Р. Владыкин, А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева [и др.]. – М.: КолосС, 2007.
2. Сибикин, Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учеб. пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Высшая школа, 2003.
3. Конаковский завод механизированного инструмента [Официальный сайт] URL: <http://kzmi-konakovo.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.)
4. Корпорация Hitachi [Официальный сайт] URL: <http://www.hitachi.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.)
5. Корпорация Makita [Официальный сайт] URL: <http://www.makita.com.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.)
6. Электроинструменты Bosh [Официальный сайт] URL: <http://www.bosch-pt.com/ru/ru/продукция/продукция.html> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).

7. Прогресс – инструмент [Официальный сайт] URL: <http://www.progress-pt.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
8. ООО «Северные стрелы» [Официальный сайт] URL: <http://www.arrows.ru/informations/articles/96> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
9. Компания «DIAM-Инструмент» [Интернет магазин профессионального строительного оборудования] URL: <http://www.diam-instrument.ru/catalog> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
10. Компания «HILTI» [Официальный сайт] URL: [https://www.hilti.ru/press-lifetime-service#/stage2/cls\\_direct\\_fastening\\_foldout](https://www.hilti.ru/press-lifetime-service#/stage2/cls_direct_fastening_foldout) (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
11. Компания «SPIT» [Официальный сайт] URL: <http://www.spit-russia.ru/catalog/pороховые-montazhnye-pistolety.html> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
12. ООО «Армин» Сервисный металлоцентр [Электронный ресурс] URL: <http://armin.by/zakladnye-detali> (дата обращения 1 сентября 2014 г.)
13. «Азбука ремонта» [Электронный ресурс] URL: <http://azbuka-remont.ru/vidy-secheniy-bit/> (дата обращения 1 сентября 2014 г.)

## **РАЗДЕЛ 2**

### **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ**

#### **Лабораторная работа 2**

### **ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ**

#### **Цель работы**

Изучить конструкцию, маркировку основных типов предохранителей с плавкой вставкой, применяемых для защиты электрических цепей и установок в сельскохозяйственном производстве.

Усвоить методику расчета и выбора предохранителей.

#### **Задание к работе**

1. По методическим указаниям и набору предохранителей изучить конструкцию и маркировку плавких предохранителей.

2. По заданию преподавателя произвести расчет плавкой вставки и выбрать тип предохранителя для электроустановки или распределительной сети.

#### **Общие сведения**

Предохранители – это коммутационные электротехнические изделия, используемые для защиты электрической сети от сверхтоков и токов короткого замыкания. Принцип действия предохранителей основан на разрушении специально предназначенных для этого токоведущих частей (плавких вставок) внутри самого устройства при протекании по ним тока, величина которого превышает определенное значение.

Плавкие вставки являются основным элементом любого предохранителя. После перегорания (отключения тока) они подлежат замене. Внутри плавкой вставки располагается плавкий элемент (именно он и перегорает), а также дугогасительное устройство. Плавкая вставка чаще всего изготавливается из фарфорового или фибрового корпуса и крепится в специальные токопроводящие части предохранителя. Если предохранитель предназначен на малые токи, то плавкая вставка для него может не иметь корпуса, т. е. быть бескорпусной.

К основным характеристикам плавких ставок предохранителя можно отнести: номинальный ток, номинальное напряжение, отключающая способность.

Также к элементам предохранителя относятся:

– держатель плавкой вставки – съемный элемент, главное предназначение которого удерживать плавкую вставку;

– контакты плавкой вставки – часть предохранителя, которая обеспечивает электрическую связь между проводниками и контактами плавкой вставки;

– боек предохранителя – специальный элемент, задача которого при срабатывании предохранителя воздействовать на другие устройства и контакты самого предохранителя.

Все предохранители делятся на несколько десятков видов:

– по конструкции плавких вставок предохранители бывают разборные и неразборные. У разборных предохранителей можно заменить плавкую вставку после ее перегорания, у неразборных предохранителей это сделать не получится;

– присутствию наполнителя. Бывают предохранители с наполнителем и без наполнителя;

– конструкции изготовления плавких вставок. Различают предохранители с ножевыми, болтовыми и фланцевыми контактами;

– корпусу плавкой вставки предохранители делятся на трубчатые и призматические. У первого вида предохранителей плавкая вставка имеет цилиндрическую форму, у второго вида – форму прямоугольного параллелепипеда;

– виду плавких вставок в зависимости от диапазона токов отключения. Есть предохранители с отключающей способностью в полном диапазоне токов отключения –  $g$  и с отключающей способностью в части диапазона токов отключения –  $a$ ;

– быстродействию. Есть предохранители небыстродействующие (используются в большинстве случаев в трансформаторах, кабелях, электрических машинах) и быстродействующие (применяются в полупроводниковых приборах);

– конструкции основания предохранителя могут быть с калибровочным основанием (в таких предохранителях не удастся установить плавкую вставку, предназначенную для работы с большим, чем сам предохранитель, номинальным током) и с некалиброванным ос-

нованием (в такие предохранители можно установить плавкую вставку, номинальный ток которой больше номинального тока самого предохранителя);

- напряжению предохранители делятся на низковольтные и высоковольтные;

- количеству полюсов. Бывают одно-, двух-, трехполюсные предохранители;

- наличию и отсутствию свободных контактов. Есть предохранители со свободными контактами и без них;

- присутствию бойка и указателя срабатывания предохранители бывают – без бойка и без указателя, с указателем без бойка, с бойком без указателя, с указателем и бойком;

- способу крепления проводников предохранители делятся на предохранители с передним присоединением, задним, универсальным (и задним, и передним);

- способу монтажа. Есть предохранители на собственном основании и без него.

Исторически сложилось так, что механическое исполнение корпусов предохранителей и их габаритные и присоединительные размеры различны в разных странах. Существуют четыре основных национальных стандарта на присоединительные размеры предохранителей: североамериканский, немецкий, британский и французский. Есть также ряд корпусов предохранителей, одинаковых для разных стран и не относящихся к национальным стандартам. Чаще всего такие корпуса относятся к стандартам фирмы-производителя, разработавшей конкретный тип прибора, который оказался удачным и закрепился на рынке. В последние десятилетия, в рамках процессов глобализации экономики, производители постепенно присоединяются к международной системе стандартов корпусов предохранителей для упрощения условий взаимозаменяемости приборов. При выборе следует стараться использовать предохранители международных стандартов: IEC 60127, IEC 60269, IEC 60282, IEC 60470, IEC 60549, IEC 60644.

Необходимо отметить, что по виду плавких вставок в зависимости от диапазона токов отключения и быстродействия предохранители разделены на классы использования. При этом первая буква указывает функциональный класс, а вторая – подлежащий защите объект:

1-я буква:

a – защита с отключающей способностью в части диапазона (accompanied fuses): плавкие вставки предохранителей способные как минимум длительно пропускать токи, не превышающие указанного для них расчетного тока, и отключать токи определенной кратности относительно расчетного тока вплоть до расчетной отключающей способности;

g – защита с отключающей способностью во всем диапазоне (general purpose fuses): плавкие вставки предохранителей, способные как минимум длительно пропускать токи, не превышающие указанного для них расчетного тока, и отключать токи от минимального тока выплавления и до расчетной отключающей способности.

2-я буква:

G – защита кабелей и проводов;

M – защита коммутационных аппаратов/двигателей;

R – защита полупроводников/тиристоров;

L – защита кабелей и проводов (в соответствии со старой, уже не действующей нормой DIN VDE);

Tr – защита трансформаторов.

Общий вид времятоковых характеристик плавких предохранителей основных категорий использования приведен на рисунке 2.1.

Плавкие вставки со следующими классами использования обеспечивают:

gG (DIN VDE/МЭК) – защита кабелей и проводов во всем диапазоне;

aM (DIN VDE/МЭК) – защита коммутационных аппаратов в части диапазона;

aR (DIN VDE/МЭК) – защита полупроводников в части диапазона;

gR (DIN VDE/МЭК) – защита полупроводников во всем диапазоне;

gS (DIN VDE/МЭК) – защита полупроводников, а также кабелей и линий во всем диапазоне.

Предохранители с отключающей способностью во всем диапазоне (gG, gR, gS) надежно отключают как при токах КЗ, так и при перегрузках.

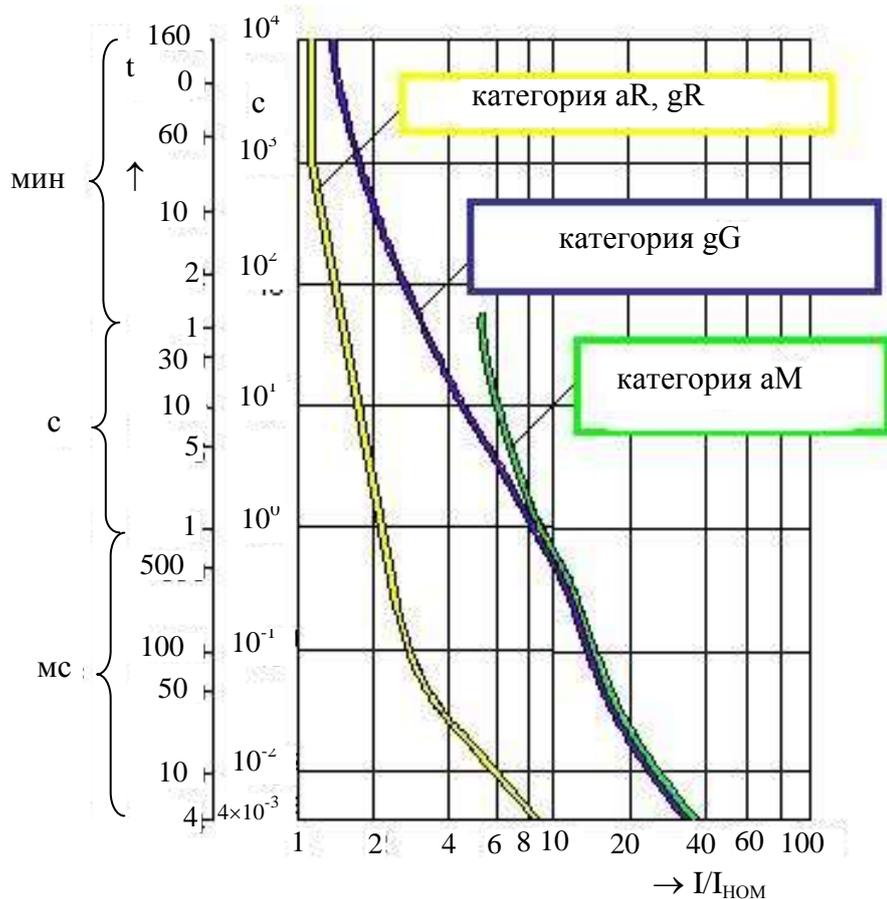


Рис. 2.1. Вид времятоковых характеристик основных категорий плавких предохранителей

Предохранители с отключающей способностью в части диапазона (aM, aR) служат исключительно для защиты от короткого замыкания.

Для защиты установок на напряжение до 1000 В используют электрические, трубчатые и открытые (пластинчатые) предохранители.

Электрический предохранитель состоит из фарфорового корпуса и пробки с плавкой вставкой. Питающую линию присоединяют к контакту предохранителя, отходящую – к винтовой резьбе. При коротком замыкании или перегрузке плавкая вставка перегорает, и ток в цепи прекращается. Применяют следующие типы электрических предохранителей: Ц-14 на ток до 10 А и напряжение 250 В с прямоугольным основанием; Ц-27 на ток до 20 А и напряжением 500 В с прямоугольным или квадратным основанием и Ц-33 на ток до 60 А и напряжение 500 В с прямоугольным или квадратным основанием.

Например, электрические предохранители резьбовые, серии ПРС, предназначены для защиты от перегрузок и коротких замыканий электрооборудования и сетей. Номинальное напряжение предо-

хранителей – 380 В переменного тока частотой 50 или 60 Гц. Конструктивно предохранители ПРС (рис. 2.2) состоят из корпуса, плавкой вставки ПВД, головки, основания, крышки, центрального контакта.

Предохранители ПРС выпускаются на номинальные токи плавкой вставки от 6 до 100 А. В обозначении предохранителя указывается, какого он присоединения: ПРС-6-П – предохранитель на 6 А, переднего присоединения проводов; ПРС-6-З – предохранитель на 6А, заднего присоединения проводов.

Предохранители цилиндрические ПЦУ-6 и ПЦУ-20 с резьбовым цоколем Ц-27 и плавкими вставками на токи 1, 2, 4, 6, 10, 15, 20 ампер выпускаются в пластмассовом корпусе. Предохранители ПД имеют основание из фарфора, а у предохранителей ПДС материал основания – стеатит. В бытовых условиях применяют автоматические пробочные предохранители, где защищаемая цепь восстанавливается кнопкой.

Трубчатые предохранители выпускают следующих типов: ПР-2, НПН и ПН-2. Предохранитель ПР-2 (предохранитель разборный) предназначен для установки в сетях напряжением до 500 В и на токи 15, 60, 100, 200, 400, 600 и 1000 А.

В патроне предохранителя ПР-2 (рис. 2.3) плавкая вставка 5, прикрепляемая винтами 6 к контактными ножам 1, помещена в фибровую трубку 4, на которую насажены втулки 3 с резьбой. На них навинчены латунные колпачки 2, закрепляющие контактные ножи, которые входят в неподвижные пружинящие контакты, устанавливаемые на изоляционной плите.



Рис. 2.2. Предохранитель ПРС

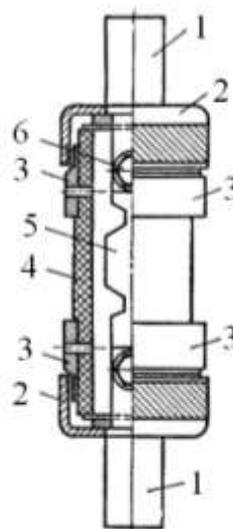


Рис. 2.3. Разрез предохранителя

Под действием электрической дуги, возникающей при перегорании предохранителя, внутренняя поверхность фибровой трубки разлагается, и образуются газы, способствующие быстрому гашению дуги.

К закрытым предохранителям с мелкозернистым наполнителем относятся предохранители типа НПН, ННР, ПН2, ПН-Р, КП. У предохранителей типа НПН (наполненный предохранитель неразборный) трубка стеклянная. У остальных трубки фарфоровые. Предохранители типа НПН имеют цилиндрическую форму, ПН – прямоугольную.

Комплект предохранителя НПН состоит из: плавкой вставки – 1 шт; контакт-основания – 2 шт.

Предохранители НПН изготавливают на напряжение до 500 В и токи от 15 до 60 А, предохранители ПН2 (предохранитель насыпной разборный) – на напряжение до 500 В и токи от 10 до 600 А. В насыпных предохранителях плавкие вставки, выполненные из нескольких параллельных медных или посеребренных проволок, помещены в закрытый фарфоровый патрон, заполненный кварцевым песком. Кварцевый песок способствует интенсивному охлаждению и деионизации газов, появляющихся при горении дуги. Так как трубки закрыты, то брызги расплавленного металла плавких вставок и ионизированные газы не выбрасываются наружу. Это уменьшает пожарную опасность и повышает безопасность обслуживания предохранителей. Предохранители с наполнителем так же, как и предохранители типа ПР, – токоограничивающие.

Пластинчатые открытые предохранители состоят из медных или латунных пластин – наконечников, в которые впаяны медные калиброванные проволоки. Наконечники с помощью болтов присоединяют к контактам на изоляторах.

Предохранители типа ННР – патрон закрытый разборный (фарфоровый) с наполнителем из кварцевого песка на номинальные токи до 400 А.

Предохранители ПД (ПДС) – 1, 2, 3, 4, 5 – с наполнителем для установки непосредственно на токоведущие шины на токи от 10 до 600 А.

Для защиты силовых вентилях полупроводниковых преобразователей средней и большой мощности при внешних и внутренних коротких замыканиях широко применяются быстродействующие плавкие предохранители, которые являются самыми дешевыми средствами защиты. Они состоят из контактных ножей и плавкой вставки из серебряной фольги, помещенных в закрытый фарфоровый патрон.

Плавкая вставка таких предохранителей имеет узкие калиброванные перешейки, которые снабжены радиаторами из хорошо проводящего тепло керамического материала, посредством которых тепло отводится к корпусу предохранителя. Эти радиаторы служат также дугогасительными камерами с узкой щелью, что значительно улучшает гашение дуги, возникающей в области перешейка. Параллельно плавкой вставке установлен сигнальный патрон, блинкер которого сигнализирует о расплавлении плавкой вставки и, воздействуя на микровыключатель, замыкает сигнальные контакты.

Длительное время промышленностью выпускались два типа быстродействующих плавких предохранителей, предназначенных для защиты от токов короткого замыкания преобразователей с силовыми полупроводниковыми вентилями:

1) предохранители типа ПНБ-5 [7] (рис. 2.4, а) для работы в цепях с номинальным напряжением до 660 В постоянного и переменного тока на номинальные токи 40, 63, 100, 160, 250, 315, 400, 500 и 630 А;

2) предохранители типа ПБВ для работы в цепях переменного тока с частотой 50 Гц номинальным напряжением 380 В на номинальные токи от 63 до 630 А.

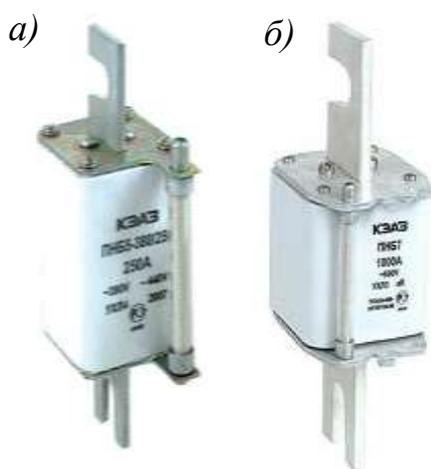


Рис. 2.4. Плавкие предохранители типа ПНБ-5 и ПНБ-7

В настоящее время промышленностью выпускаются предохранители типа ПНБ-7 (рис. 2.4, б) на номинальный ток 1000 А и на номинальные напряжения электрической цепи 690 В переменного тока. Плавкие элементы предохранителя ПНБ-7 [7] выполнены из чистого серебра (быстродействие и долговечность). Контакты (выводы) предохранителя созданы из электротехнической меди с гальваническим покрытием (высокая токопроводность и долговечность).

Корпус предохранителя сделан из высокопрочного ультрафарфора. Конструкция предохранителя позволяет применять дополнительные устройства – указатель срабатывания, свободный контакт.

Структура условного обозначения предохранителей ПНБ7-400/100-Х1-Х2:

ПНБ-7 – обозначение серии;

400 – номинальное напряжение, В;

100 – номинальный ток;

X1 – условное обозначение вида монтажа и вида присоединения проводников к выводам: 2 – на собственном изоляционном основании с контактами основания; 5 – на основаниях комплектных устройств с контактами основания; 8 – без основания, без контактов (плавкая вставка);

X2 – условное обозначение наличия указателя срабатывания: 0 – без сигнализации; 1 – с бойком и свободным контактом; 2 – с указателем срабатывания; 3 – с бойком.

Плавкие предохранители промышленного назначения серии ПП предназначены для защиты электрооборудования промышленных установок и электрических цепей от перегрузок и коротких замыканий.

Выпускаются предохранители данной серии следующих основных типов: ПП17, ПП32, ПП57, ПП60С. Предохранители изготавливают с указателем срабатывания, с указателем срабатывания и свободным контактом или без сигнализации. В зависимости от типа предохранители рассчитаны на напряжение до 690 В и на номинальные токи от 20 А до 1000 А. Конструктивные особенности позволяют устанавливать свободные контакты замыкающие или размыкающие, а также способ монтажа – на собственном основании, на основании комплектных устройств, на проводниках комплектных устройств.

Структура обозначения предохранителей типа ПП17 и ПП32 – X1X2 – X3 – X4 – XXXX:

1) X1X2 – условное обозначение габарита (номинальный ток, А): 31 – 100А; 35 – 250А; 37 – 400А; 39 – 630А.

2) X3 – условное обозначение вида монтажа и вида присоединения: 2 – на собственном основании, 5 – на основании комплектных устройств, 7 – на проводниках комплектных устройств (болтовое присоединение), 8 – без основания (плавкая вставка), 9 – без основания (плавкая вставка в части размеров унифицирована с предохранителями ПН2-100 и ПН2-250).

3) X4 – условное обозначение наличия указателя срабатывания, бойка, свободного контакта: 0 – без сигнализации, 1 – с бойком и свободным контактом, 2 – с указателем срабатывания, 3 – с бойком.

4) XXXX – климатическое исполнение: УХЛ, Т и категория размещения 2, 3.

В настоящее время полупроводниковые преобразователи оснащаются предохранителями серии ПП57 (рис. 2.5, а) и ПП60С (рис. 2.5, б).

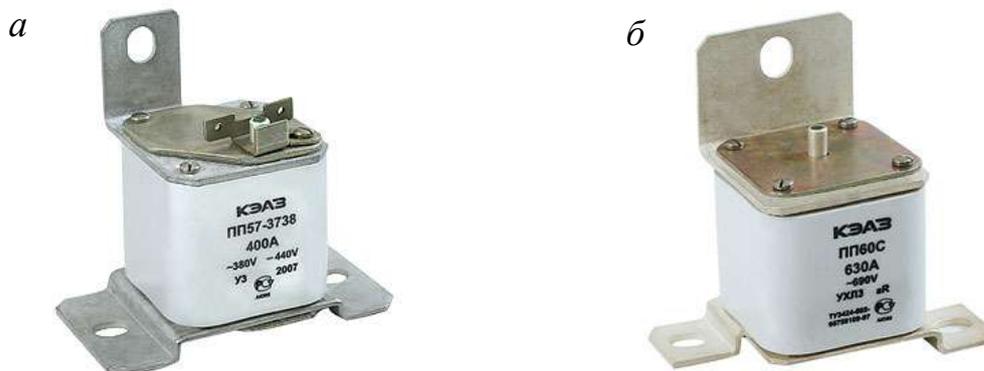


Рис. 2.5. Предохранители серий ПП57 и ПП60С

Первые предназначены для защиты преобразовательных агрегатов при внутренних коротких замыканиях переменного и постоянного тока при напряжениях 220 – 2000 В на токи 100, 250, 400, 630 и 800 А. Вторые – при внутренних коротких замыканиях переменного тока при напряжениях 690 В на токи 400, 630, 800 и 1000 А.

Структура обозначения предохранителей типа ПП57 – ABCD – EF:

Буквы ПП – предохранитель плавкий;

Двузначное число 57 – условный номер серии;

А – двузначное число – условное обозначение номинального тока предохранителя;

В – цифра – условное обозначение номинального напряжения предохранителя;

С – цифра – условное обозначение по способу монтажа и виду присоединения проводников к выводам предохранителя (например, 7 – на проводниках преобразовательного устройства – болтовое с угловыми выводами);

Д – цифра – условное обозначение наличия указателя срабатывания и контакта вспомогательной цепи:

0 – без указателя срабатывания, без контакта вспомогательной цепи;

1 – с указателем срабатывания, с контактом вспомогательной цепи;

2 – с указателем срабатывания, без контакта вспомогательной цепи;

Е – буква – условное обозначение климатического исполнения;

Ф – цифра – категория размещения.

Пример условного обозначения предохранителя: ПП57-37971-УЗ.

Предохранители плавкие ППН предназначаются для защиты кабельных линий и промышленных электроустановок от токов перегрузки и короткого замыкания. Предохранители применяются в электрических сетях переменного тока частотой 50 Гц с напряжением до 660 В и устанавливаются в низковольтные комплектные устройства, например, в распределительные панели ЩО-70, вводно-распределительные устройства ВРУ1, шкафы распределительные силовые ШРС1 и т. п.

Преимущества предохранителей ППН:

- 1) корпус предохранителя и основание держателя изготовлены из керамики;
- 2) контакты предохранителя и держателя изготовлены из электротехнической меди;
- 3) корпус предохранителей засыпан мелкодисперсным кварцевым песком;
- 4) габаритные размеры предохранителей на ~15 % меньше предохранителей ПН-2;
- 5) потери мощности на ~40 % меньше, чем у предохранителей ПН-2;
- 6) наличие индикатора срабатывания;
- 7) предохранители монтируются и демонтируются с помощью универсального съемника.

Особенности конструкции предохранителей серии ППН приведены на рис. 2.6 [6].

Предохранители плавкие серии ППНИ [8] (рис. 2.7) общего применения предназначены для защиты промышленных электроустановок и кабельных линий от перегрузки и короткого замыкания и выпускаются на номинальные токи от 2 до 630 А.

Используются в однофазных и трехфазных сетях напряжением до 660 В частоты 50 Гц. Области применения предохранителей ППНИ: вводно-распределительные устройства (ВРУ); шкафы и пункты распределительные (ШРС, ШР, ПР); оборудование трансформаторных подстанций (КСО, ЩО); шкафы низкого напряжения (ШР-НН); шкафы и ящики управления.



Номинальный ток до 1250 А



Основание с держателем



Наличие индикатора срабатывания



Надежное соединение



Съемник универсальный для ППН (всех типов)

*Рис. 2.6. Особенности конструкции предохранителей ППН*

Вследствие использования качественных современных материалов и новой конструкции, в предохранителях ППНИ снижены потери мощности по сравнению с предохранителями ПН-2. Данные, представленные в таблице 2.1, показывают экономичность предохранителей ППНИ по сравнению с ПН-2.



*Рис. 2.7. Предохранители серии ППНИ*

## Сравнительные характеристики предохранителей ППНИ и ПН-2

Номинальный ток $I_N$ , А	Потери мощности $P$ , Вт не более		Экономия мощности при использовании ППНИ $\Delta P$	
	ППНИ	ПН-2	Вт	%
100	9	16	7	44
160	16	28	12	43
250	23	34	11	32
400	34	56	22	39
630	45	85	40	47

### Особенности конструкции предохранителей ППНИ:



Контакты предохранителя и держателя выполнены из электротехнической меди с гальваническим покрытием сплавом олово-висмут, что предотвращает их окисление в процессе эксплуатации.



Основание держателя (изолятор) выполнено из армированной терморезистивной пластмассы, стойкой к коррозии, механическим воздействиям, перепадам температуры и динамическим ударам, которые возникают при коротких замыканиях вплоть до 120 кА.



Контакты плавкой вставки выполнены в форме ножа (заострены), что позволяет их устанавливать в держатели с меньшими усилиями.



Все габариты плавких вставок ППНИ удобно устанавливать или демонтировать универсальной рукояткой съема РС-1, изоляция которой выдерживает напряжение до 1000 В.



Для быстрого и эффективного дугогашения корпус плавкой вставки наполнен кварцевым песком высокой химической очистки.



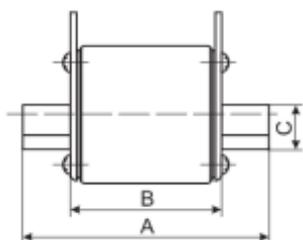
Плавкий элемент выполнен из фосфористой бронзы (сплав меди с цинком с добавлением фосфора) и надежно соединен точечной сваркой с выводами предохранителя.



В конструкции плавкой вставки есть специальный индикатор, выполненный в виде выдвижного штока, который позволяет визуально определять сработавшие предохранители



Предохранители ППНИ с отключающей способностью во всем диапазоне «gG» надежно срабатывают как при токах короткого замыкания, так и при перегрузках.



Конструкция, технические параметры, габаритные и установочные размеры плавких вставок и держателей ППНИ соответствуют современным стандартам МЭК и ГОСТ, а, следовательно, этими предохранителями можно заменять другие отечественные и импортные предохранители.

### **Выбор плавких вставок предохранителей**

Предохранители устанавливаются на всех ответвлениях, если сечение провода на ответвлении меньше сечения провода в магистрали, на вводах и в головных участках сети в вводно-распределительных устройствах, шкафах распределительных силовых и силовых ящиках комплектно с рубильниками или на отдельных панелях. Для избирательности действия необходимо, чтобы каждый следующий предохранитель по направлению к источнику тока имел

номинальный ток плавкой вставки хотя бы на одну ступень больше, чем предыдущий.

Для расчета защиты сетей и оборудования, выполненной с помощью плавких предохранителей, необходимы следующие данные:

- номинальное напряжение предохранителя;
- максимальный ток короткого замыкания, отключаемый предохранителем;
- номинальный ток предохранителя;
- номинальный ток плавкой вставки предохранителя;
- защитная характеристика предохранителя.

Номинальным напряжением предохранителя ( $U_{\text{ном,пр}}$ ) называется указанное на нем напряжение, для продолжительной работы при котором он предназначен. Действительное напряжение сети ( $U_c$ ) не должно превышать номинального напряжения предохранителя больше чем на 10 %:

$$U_c \leq 1,1 U_{\text{ном,пр}} \quad (2.1)$$

Номинальным током предохранителя ( $I_{\text{ном,пр}}$ ) называется указанный на нем ток, равный наибольшему из номинальных токов плавких вставок ( $I_{\text{max ном,ПВ}}$ ), предназначенных для данного предохранителя. Это максимальный длительный ток, пропускаемый предохранителем по условию нагрева его деталей, кроме вставок.

$$I_{\text{ном,пр}} = I_{\text{max ном,ПВ}} \quad (2.2)$$

Максимальным отключаемым током (разрывной способностью) предохранителя ( $I_{\text{max,пр}}$ ) называется наибольшее значение (эффективное) периодической составляющей тока, отключаемого предохранителем без разрушения и опасного выброса пламени или продуктов горения электрической дуги. Эта величина предохранителей для каждого типа может изменяться в зависимости от напряжения, номинального тока предохранителя, величины  $\cos\phi$  в отключаемой цепи и прочих условий.

Номинальным током плавкой вставки предохранителя ( $I_{\text{ном,ПВ}}$ ) называется указанный на ней ток, для продолжительной работы при котором она предназначена. Практически это максимальный длительный ток, пропускаемый вставкой ( $I_{\text{max,ПВ}}$ ), по условию допустимого нагрева самой вставки.

$$I_{\text{ном,ПВ}} = I_{\text{max,ПВ}} \quad (2.3)$$

Обычно, кроме номинального тока вставки, указывают еще два значения так называемых испытательных токов, по которым калибруются вставки. Нижнее значение испытательного тока плавкая вставка должна выдерживать определенное время, обычно 1 ч, не расплавляясь; при верхнем значении испытательного тока вставка должна перегорать за время не больше определенного, обычно также 1 ч.

Основными данными для определения времени сгорания вставки, а, следовательно, и селективности последовательно включенных предохранителей являются их защитные характеристики.

Защитной характеристикой предохранителя называется зависимость полного времени отключения (суммы времени плавления вставки и времени горения дуги) от величины отключаемого тока.

Защитные характеристики обычно даются в виде графика, в прямоугольных координатах. По вертикальной оси координат откладывается время, а по горизонтальной оси – кратность тока, отключаемого предохранителем, к номинальному току вставки, или отключаемый ток.

Избирательность (селективность) защиты плавкими предохранителями обеспечивается подбором плавких вставок таким образом, чтобы при возникновении короткого замыкания, например, на ответвлении к электроприемнику, срабатывал ближайший плавкий предохранитель, защищающий этот электроприемник, но не срабатывал предохранитель, защищающий головной участок сети.

Выбор плавких вставок предохранителей по условию селективности следует производить, пользуясь типовыми защитными характеристиками предохранителей, с учетом возможного разброса реальных характеристик по данным завода-изготовителя.

Типичная времятоковая характеристика современного предохранителя двойного действия приведена на рисунке 2.8.

При номинальном токе 200 А предохранитель должен работать неограниченное время. По характеристике видно, что при уменьшении тока время срабатывания в области малых токов быстро растет и кривая зависимости в идеале должна асимптотически стремиться к прямой  $I = 200 \text{ А}$ , для времени  $t = +\infty$ . В области рабочих перегрузок, то есть в случае, когда ток через предохранитель находится в пределах  $(1-5) \cdot I_{\text{ном}}$ , время срабатывания предохранителя достаточно велико – превышает единицы секунд (при токе 1000 А время срабатывания равно 10 с).

Такой вид зависимости позволяет защищаемому оборудованию свободно работать во всем диапазоне рабочих перегрузочных характеристик. При дальнейшем увеличении тока, крутизна времятоковой характеристики (рис. 2.8) быстро возрастает, и уже при одиннадцатикратной перегрузке время срабатывания составляет всего 10 мс. Дальнейший рост тока перегрузки сокращает время срабатывания еще в большей степени, хотя и не так быстро, как на участке между пяти- и десятикратной перегрузки. Это объясняется конечной скоростью гашения дуги из-за конечной теплоемкости материала наполнителя, конечной теплоты плавления материала плавкой перемычки и определенной массы плавящегося и испаряющегося металла перемычки. При дальнейшем увеличении тока (более чем 15–20-кратно относительно номинального) время срабатывания плавкого элемента может составлять 0,02–0,5 мс в зависимости от типа и конструкции предохранителя.

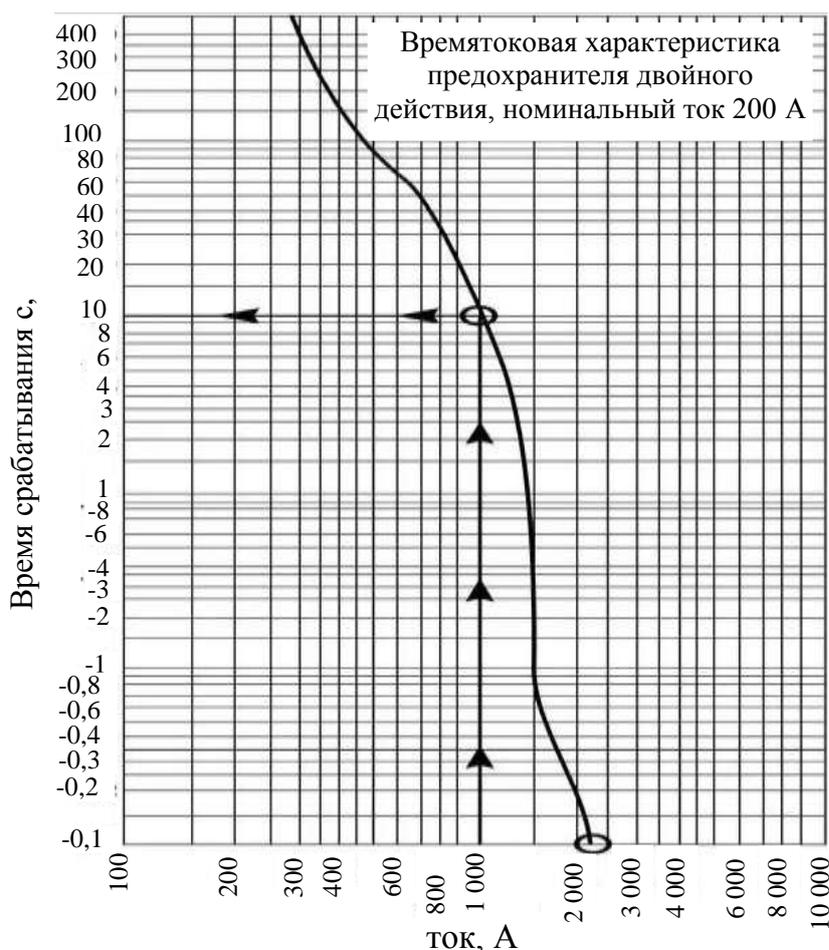


Рис. 2.8. Типовая времятоковая характеристика предохранителя двойного действия

При номинальном токе 200 А предохранитель должен работать неограниченное время. По характеристике видно, что при уменьшении тока, время срабатывания в области малых токов быстро растет, и кривая зависимости в идеале должна асимптотически стремиться к прямой  $I = 200 \text{ А}$ , для времени  $t = +\infty$ . В области рабочих перегрузок, т. е. в случае, когда ток через предохранитель находится в пределах  $(1-5) \cdot I_{\text{ном}}$ , время срабатывания предохранителя достаточно велико – превышает единицы секунд (при токе 1000 А время срабатывания равно 10 с).

Такой вид зависимости позволяет защищаемому оборудованию свободно работать во всем диапазоне рабочих перегрузочных характеристик. При дальнейшем увеличении тока, крутизна времятоковой характеристики (рис. 2.8) быстро возрастает, и уже при одиннадцатикратной перегрузке время срабатывания составляет всего 10 мс. Дальнейший рост тока перегрузки сокращает время срабатывания еще в большей степени, хотя и не так быстро, как на участке между пяти- и десятикратной перегрузке. Это объясняется конечной скоростью гашения дуги из-за конечной теплоемкости материала наполнителя, конечной теплоты плавления материала плавкой перемычки и определенной массы плавящегося и испаряющегося металла перемычки. При дальнейшем увеличении тока (более чем 15–20-кратно относительно номинального) время срабатывания плавкого элемента может составлять 0,02–0,5 мс в зависимости от типа и конструкции предохранителя.

Фирма Siemens [9] выпускает широкую номенклатуру плавких предохранителей (комбинаций gG, gM, aM, gR, aR, gTr, gF, gFF), шести типоразмеров – 000(00C), 00, 1, 2, 3, 4a (обозначения согласно IEC) на номинальные токи от 2 до 1600 А и напряжения (~ 400 В, 500 В и 690 В; – 250 В, 440 В) с наиболее часто применяемыми на практике контактами ножевого типа (NH), преимущественно вертикального положения установки.

Предохранители типа NH обладают высокой отключающей способностью и стабильностью характеристик. Применение предохранителей типа NH позволяет обеспечивать селективность защиты при КЗ.

Плавкие предохранители ножевого типа NH (аналог ППН), предназначены для установки в контактодержатели PBS, PBD, в ПВР серии APC и RBK, а также в выключатели нагрузки типа RAB. Возможно применение данных предохранителей в защитных аппаратах, рассчитанных на применение отечественных вставок типа ППН.

Предохранители типа NH представляют собой предохранитель с гашением дуги в закрытом объеме. Плавкая вставка штампуется из цинка, являющегося легкоплавким и стойким к коррозии металлом. Форма плавкой вставки позволяет получить благоприятную времятоковую (защитную) характеристику. Вставка располагается в герметичном изоляционном керамическом корпусе. Наполнитель – кварцевый песок с содержанием SiO не менее 98 %, с зернами  $(0,2-0,4) \cdot 10^{-3}$  м и влажностью не выше 3 %.

При отключении сгорают суженные перешейки плавкой вставки, после чего возникшая дуга гасится благодаря эффекту токоограничения, возникшему при перегорании суженных участков плавкой вставки. Среднее время гашения дуги составляет 0,004 с.

Времятоковые характеристики предохранителей типа NH для класса использования gG приведены на рисунке 2.9.

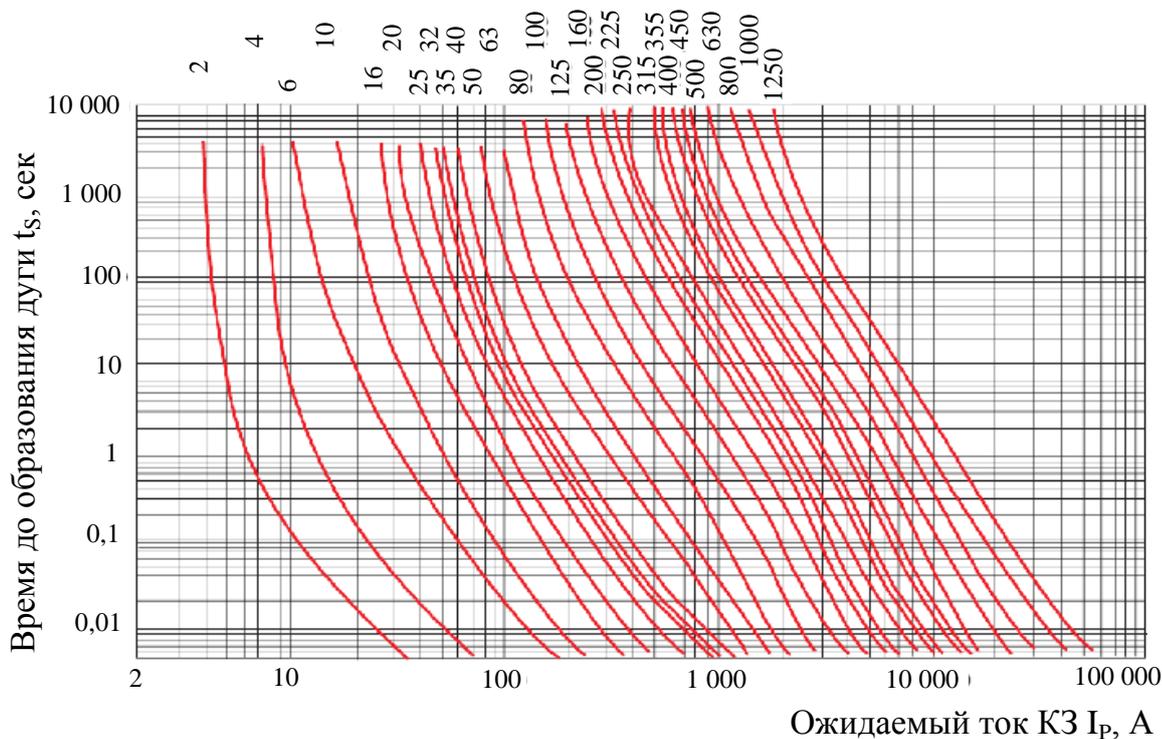


Рис. 2.9. Времятоковая характеристика предохранителей типа NH

Предохранители типа NH работают бесшумно, практически без выброса пламени и газов, что позволяет устанавливать их на близком расстоянии друг от друга.

Еще одной важной характеристикой предохранителя, как защитного устройства, является так называемый защитный показатель, в зарубежных источниках именуемый  $I^2 \cdot t$ . Для защищаемой электрической цепи защитный показатель – это количество тепла, выделяе-

мого в цепи с момента возникновения аварийной ситуации до момента полного отключения цепи защитным устройством. Величина защитного показателя конкретного устройства, по сути, определяет предел его устойчивости к тепловому разрушению в аварийных режимах. При вычислении величины защитного показателя используется эффективное значение тока в цепи.

Например, эффективное значение тока, протекающего через предохранитель, можно рассчитать для часто используемых схем выпрямителей переменного тока, исходя из (сглаженного) постоянного тока  $I_d$  либо из фазного тока  $I_L$ , значения которых приведены в таблице 2.2.

При коротком замыкании ток предохранительной вставки (рис. 2.10) возрастает в течение времени плавления  $t_S$  до тока короткого замыкания  $I_C$  (пика тока плавления).

Таблица 2.2

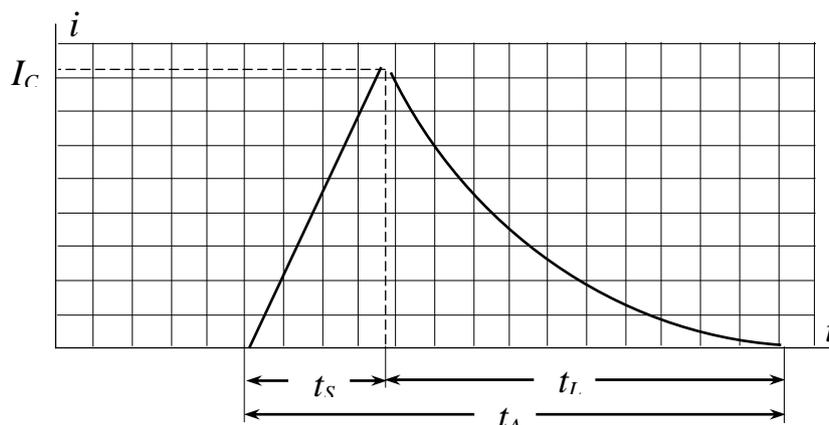
### Эффективное значение тока, протекающего через предохранитель

Схема выпрямителя переменного тока	Эффективное значение фазного тока (фазный предохранитель)	Эффективное значение тока от ветвления (предохранитель в ответвлении)
Однопульсная со средней точкой	$1,57I_d$	—
Двухпульсная со средней точкой	$0,71I_d$	—
Трехпульсная со средней точкой	$0,58I_d$	—
Шестипульсная со средней точкой	$0,41I_d$	—
Двойная трехфазная однополупериодная со средней точкой (параллельная)	$0,29I_d$	—
Двухпульсная мостовая схема	$1,0I_d$	$0,71I_d$
Шестипульсная мостовая схема	$0,82I_d$	$0,58I_d$
Однофазная двунаправленная схема	$1,0I_L$	$0,71I_L$

В течение времени гашения дуги  $t_L$  образуется электрическая дуга и ток короткого замыкания гасится (рис. 2.10).

Интеграл квадратичного значения тока ( $\int I^2 dt$ ) по всему времени срабатывания ( $t_S + t_L$ ), кратко называемый полным джоулевым интегралом, определяет тепло, которое подводится к подлежащему защите полупроводниковому элементу во время процесса размыкания.

Чтобы достичь достаточного защитного эффекта, полный джоулев интеграл предохранительной вставки должен быть меньше чем величина  $I^2 \cdot t$  (интеграл предельной нагрузки) полупроводникового элемента. Так как полный джоулев интеграл предохранительной вставки с возрастающей температурой, а, следовательно, и с возрастающей предварительной нагрузкой, практически убывает так же, как и величина  $I^2 \cdot t$  полупроводникового элемента, то достаточно сравнить между собой величины  $I^2 \cdot t$  в ненагруженном (холодном) состоянии.



*Рис. 2.10. Токовая характеристика при срабатывании предохранительных вставок*

Полный джоулев интеграл ( $I^2 \cdot t_A$ ) представляет собой сумму интеграла плавления ( $I^2 \cdot t_S$ ) и интеграла дуги ( $I^2 \cdot t_L$ ). В общем случае, величина полного джоулевого интеграла полупроводникового прибора должна быть больше или равной величине защитного показателя предохранителя:

$(\int I^2 dt)$  (полупроводник,  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_P = 10 \text{ мс}$ )  $\geq$   $(\int I^2 \cdot t_A)$  (предохранительная вставка).

Интеграл плавления  $I^2 \cdot t_S$  может быть рассчитан для любых значений времени, исходя из пар значений времятоковой характеристики предохранительной вставки.

При уменьшении времени плавления интеграл плавления стремится к нижнему предельному значению, при котором во время процесса плавления из перемычек плавящегося проводника в окружающее пространство тепло практически не отводится. Указанные в данных для выбора и заказа и в характеристиках интегралы плавления соответствуют времени плавления  $t_S = 1 \text{ мс}$ .

В то время как интеграл плавления  $I^2 \cdot t_S$  является свойством предохранительной вставки, интеграл дуги  $I^2 \cdot t_L$  зависит от характеристик электрической цепи, а именно:

- от восстанавливающегося напряжения  $U_W$ ;
- от коэффициента мощности  $\cos \varphi$  короткозамкнутой цепи;
- от ожидаемого тока  $I_P$  (ток в месте установки предохранительной вставки, если она закорочена).

Максимум интеграла дуги достигается для каждого типа предохранителей при токе от  $10 \cdot I_P$  до  $30 \cdot I_P$ .

При защите сетей предохранителями типов ПН, НПН и НПР с заданными защитными характеристиками селективность действия защиты будет выполняться, если между номинальным током плавкой вставки, защищающей головной участок сети ( $I_{ном Г, ПВ}$ ), и номинальным током плавкой вставки на ответвлении к потребителю ( $I_{ном О, ПВ}$ ) выдерживаются определенные соотношения.

Например, при небольших токах перегрузки плавкой вставки (около 180–250 %) селективность будет выдерживаться, если  $I_{ном Г, ПВ} > I_{ном О, ПВ}$  хотя бы на одну ступень стандартной шкалы номинальных токов плавких вставок.

При коротком замыкании селективность защиты предохранителями типа НПН будет обеспечиваться, если будут выдерживаться следующие соотношения:

$$\begin{aligned} I_{(3)КЗ} / I_{ном О, ПВ} &\leq \dots 50; 100; 200; \\ I_{ном Г, ПВ} / I_{ном О, ПВ} &\dots 2,0; 2,5; 3,3, \end{aligned}$$

где  $I_{(3)КЗ}$  – трехфазный ток короткого замыкания ответвления, А.

Соотношения между номинальными токами плавких вставок  $I_{ном Г, ПВ}$  и  $I_{ном О, ПВ}$  для предохранителей типа ПН2, обеспечивающие надежную селективность, приведены в таблице 2.3.

Если защитные характеристики плавких вставок неизвестны, рекомендуется метод проверки селективности по отношению сечений вставок с поправкой на материал вставки и конструкцию предохранителя. При этом определяются сечения плавких вставок последовательно включенных предохранителей (SK и SP); вычисляется отношение SP/SK и сравнивается с величиной  $SP/SK = a$ , обеспечивающей селективность.

Здесь:

SK – сечение вставки предохранителя, установленного ближе к месту короткого замыкания; SP – сечение вставки предохранителя, установленного ближе к источнику питания.

Величина  $a$  определяется по таблице 2.4, если вычисленное значение  $SP/SK \geq a$ , то селективность обеспечивается.

Основным условием, определяющим выбор плавких предохранителей для защиты асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, является отстройка от пускового тока.

Таблица 2.3

**Номинальные токи последовательно включенных плавких вставок предохранителей ПН2, обеспечивающих надежную селективность**

Номинальный ток меньшей плавкой вставки $I_{ном О, ПВ, А}$	Номинальный ток большей плавкой вставки $I_{ном Г, ПВ, А}$ , при отношении $I_{(3)КЗ} / I_{ном О, ПВ}$			
	10	20	50	100 и более
30	40	50	80	120
40	50	60	100	120
50	60	80	120	120
60	80	100	120	120
80	100	120	120	150
100	120	120	150	150
120	150	150	250	250
150	200	200	250	250
200	250	250	300	300
250	300	300	400	более 600
300	400	400	более 600	–
400	500	более 600	–	–

Примечание.  $I_{(3)КЗ}$  – ток короткого замыкания в начале защищаемого участка сети.

Отстройка плавких вставок от пусковых токов выполняется по времени: пуск электродвигателя должен полностью закончиться раньше, чем вставка расплавится под действием пускового тока.

Опытом эксплуатации установлено правило: для надежной работы вставок пусковой ток не должен превышать половины тока, который может расплавить вставку за время пуска.

Все электродвигатели разбиты на две группы по времени и частоте пуска. Двигателями с легким пуском считаются двигатели вентиляторов, насосов, металлорежущих станков и т. п., пуск которых заканчивается за 3–5 с, пускаются эти двигатели редко, менее 15 раз за 1 ч.

К двигателям с тяжелым пуском относятся двигатели подъемных кранов, центрифуг, шаровых мельниц, пуск которых продолжается более 10 с, а также двигатели, которые пускаются очень часто – более 15 раз за 1 ч. К этой категории относят и двигатели с более легкими условиями пуска, но особо ответственные, для которых совершенно недопустимо ложное перегорание вставки при пуске.

Таблица 2.4

**Отношение сечений вставок СП/СК, обеспечивающее селективность**

Металл плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к источнику питания	Металл плавкой вставки предохранителя, расположенного ближе к месту к. з.			
	медь	серебро	цинк	свинец
Предохранитель с наполнителем				
Медь	1,55	1,33	0,55	0,20
Серебро	1,72	1,55	0,62	0,23
Цинк	4,50	3,95	1,65	0,60
Свинец	12,40	10,80	4,50	1,65
Предохранитель без наполнителя				
Медь	1,15	1,03	0,40	0,15
Серебро	1,33	1,15	0,46	0,17
Цинк	3,50	3,06	1,20	0,44
Свинец	9,50	8,40	3,30	1,20

Выбор номинального тока плавкой вставки для отстройки от пускового тока производится по выражению:

$$I_{\text{ном,ПВ}} \geq I_{\text{пус,ДВ}} / K, \quad (2.4)$$

где  $I_{\text{пус, ДВ}}$  – пусковой ток двигателя, определяемый по паспорту, каталогам или непосредственным измерением;  $K$  – коэффициент, определяемый условиями пуска и равный для двигателей с легким пуском 2,5, а для двигателей с тяжелым пуском 1,6–2.

Поскольку вставка при пуске двигателя нагревается и окисляется, уменьшается сечение вставки, ухудшается состояние контактов, она может ложно перегореть при нормальной работе двигателя. Вставка, выбранная в соответствии с (2.4), может сгореть также при

затянувшимся по сравнению с расчетным временем пуска или самозапуске двигателя.

Поэтому во всех случаях целесообразно измерить напряжение на вводах двигателя в момент пуска и определить время пуска.

Для предотвращения сгорания вставок при пуске, что может повлечь за собой работу двигателя на двух фазах и его повреждение, целесообразно во всех случаях, когда это допустимо по чувствительности к токам КЗ, выбирать вставки более грубые, чем по условию (2.1).

Каждый двигатель должен защищаться своим отдельным аппаратом защиты. Общий аппарат допускается для защиты нескольких маломощных двигателей только в том случае, если будет обеспечена термическая устойчивость пусковых аппаратов и аппаратов защиты от перегрузки, установленных в цепи каждого двигателя.

### **Выбор предохранителей для защиты магистралей, питающих несколько асинхронных электродвигателей**

Защита магистралей, питающих несколько двигателей, должна обеспечивать и пуск двигателя с наибольшим пусковым током и самозапуск двигателей, если он допустим по условиям техники безопасности, технологического процесса и т. п.

При расчете защиты необходимо точно определить, какие двигатели отключаются при понижении или полном исчезновении напряжения, какие остаются включенными, какие повторно включаются при появлении напряжения.

Для уменьшения нарушений технологического процесса применяют специальные схемы включения удерживающего электромагнита пускателя, обеспечивающего немедленное включение в сеть двигателя при восстановлении напряжения. Поэтому в общем случае номинальный ток плавкой вставки, через которую питается несколько самозапускающихся двигателей, выбирается по выражению:

$$I_{\text{ном, ПВ}} \geq \Sigma I_{\text{пус, ДВ}} / K, \quad (2.5)$$

где  $\Sigma I_{\text{пус, ДВ}}$  – сумма пусковых токов самозапускающихся электродвигателей.

## **Выбор предохранителей для защиты магистралей при отсутствии самозапускающихся электродвигателей**

В этом случае плавкие вставки предохранителей выбираются по следующему соотношению:

$$I_{\text{ном, ПВ}} \geq I_{\text{max, ТЛ}} / K, \quad (2.6)$$

где  $I_{\text{max, ТЛ}} = I_{\text{пус, ДВ}} + I_{\text{длит, ТЛ}}$  – максимальный кратковременный ток линии;  $I_{\text{пус, ДВ}}$  – пусковой ток электродвигателя или группы одновременно включаемых электродвигателей, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшего значения;  $I_{\text{длит, ТЛ}}$  – длительный расчетный ток линии до момента пуска электродвигателя (или группы электродвигателей) – это суммарный ток, который потребляется всеми элементами, подключенными через плавкий предохранитель, определяемый без учета рабочего тока пускаемого электродвигателя (или группы двигателей).

### **Выбор предохранителей для защиты асинхронных электродвигателей от перегрузки**

Поскольку пусковой ток в 5–7 раз превышает номинальный ток двигателя, плавкая вставка, выбранная по выражению (2.4), будет иметь номинальный ток в 2–3 раза больше номинального тока двигателя и, выдерживая этот ток неограниченное время, не может защитить двигатель от перегрузки. Для защиты двигателей от перегрузки обычно применяют тепловые реле, встраиваемые в магнитные пускатели или в автоматические выключатели.

Если для защиты двигателя от перегрузки и управления им применяется магнитный пускатель, то при выборе плавких вставок приходится учитывать также условие предотвращения повреждения контактов пускателя.

Дело в том, что при коротких замыканиях в двигателе снижается напряжение на удерживающем электромагните пускателя, он отпадает и разрывает ток короткого замыкания своими контактами, которые, как правило, разрушаются. Для предотвращения этого короткого замыкания двигателя должны отключаться предохранителем раньше, чем разомкнутся контакты пускателя.

Это условие обеспечивается, если время отключения тока короткого замыкания предохранителем не превышает 0,15–0,2 с; для

этого ток короткого замыкания должен быть в 10–15 раз больше номинального тока вставки предохранителя, защищающего электродвигатель, т. е.:

$$I_{(3)КЗ} / I_{\text{ном,ПВ}} \geq 10-15. \quad (2.7)$$

### **Защита предохранителями сетей до 1000 В от перегрузки**

В ПУЭ 3.1.10 [1] указаны сети напряжением до 1000 В, требующие, кроме защиты от коротких замыканий, защиты от перегрузки. К ним относятся:

1. Все сети, выполненные проложенными открыто незащищенными изолированными проводами с горючей оболочкой, внутри любых помещений.

2. Все осветительные сети независимо от конструкции и способа прокладки проводов или кабелей в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, в служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, в пожароопасных производственных помещениях, все сети для питания бытовых и переносных электроприборов.

3. Все силовые сети в промышленных предприятиях, в жилых и общественных помещениях, если по условиям технологического процесса может возникнуть длительная перегрузка проводов и кабелей.

4. Все сети всех видов во взрывоопасных помещениях и взрывоопасных наружных (вне зданий) установках независимо от режима работы и назначения сети.

Номинальный ток плавкой вставки должен выбираться минимально возможным по условию надежного пропускания максимального тока нагрузки. Практически при постоянной, без толчков, нагрузке номинальный ток вставки  $I_{\text{ном, ПВ}}$  принимается примерно равным максимальному длительному току нагрузки  $I_{\text{мах, ТН}}$ , а именно:

$$I_{\text{ном, ПВ}} \geq I_{\text{мах, ТН}}. \quad (2.8)$$

По номинальному току вставки определяется допустимый ток длительной нагрузки  $I_{\text{длит, ТН}}$  для проводника (проложенного в нормальных условиях), защищаемого выбранной вставкой:

$$k_{\text{К}} \cdot I_{\text{ном, ПВ}} \leq k_{\text{П}} \cdot I_{\text{длит, ТН}}, \quad (2.9)$$

где  $k_{\text{К}}$  – коэффициент, который учитывает конструкцию защищаемых вставкой проводников, равный по ПУЭ 3.1.10 – 1,25 для проводников

с резиновой и подобной горючей изоляцией, прокладываемых во всех помещениях, кроме невзрывоопасных производственных. Для любых проводников, прокладываемых в невзрывоопасных производственных помещениях, и кабелей с бумажной изоляцией в любых помещениях,  $k_K = 1$ :

$$k_{\Pi} = k_{\Pi 1} \cdot k_{\Pi 2} \cdot k_{\Pi 3}, \quad (2.10)$$

где  $k_{\Pi}$  – общий поправочный коэффициент, соответствующий случаю, когда действительные условия прокладки отличаются от нормальных.

Если нагрузка имеет характер толчков, например, электродвигатель крана, и продолжительность нагрузки меньше 10 мин, то вводится поправочный коэффициент  $k_{\Pi 1}$ . Этот коэффициент вводится для медных проводников сечением не менее 6 мм<sup>2</sup> и алюминиевых не менее 10 мм<sup>2</sup>. Величина  $k_{\Pi 1}$  принимается по выражению

$$k_{\Pi 1} = 0,875 / \sqrt{ПВ},$$

где ПВ – выраженная в относительных единицах продолжительность включения, равная отношению времени включения приемника, например электродвигателя, к полному времени цикла повторно кратковременного режима. Коэффициент  $k_{\Pi 1}$  вводится, если продолжительность включения не более 4 мин, а перерыв между включениями не менее 6 мин. В противном случае величина тока нагрузки принимается как для длительного режима.

Если температура окружающей среды отличается от нормальной, вводится поправочный коэффициент  $k_{\Pi 2}$ , определяемый по таблицам ПУЭ [1].

При прокладке в одной траншее более одного кабеля вводится поправочный коэффициент  $k_{\Pi 3}$ , определяемый также по таблицам ПУЭ [1].

В цепях вторичной коммутации (оперативного тока, контрольно-измерительных приборов, измерительных трансформаторов напряжения и др.) плавкие вставки выбирают по токам короткого замыкания исходя из условия:

$$I_{(3)КЗ} / I_{ном,ПВ} \geq 10. \quad (2.11)$$

Монтаж предохранителей производят на распределительных щитах и силовых пунктах. Плавкая вставка выполняется вертикально. После затяжки всех креплений проверяется соприкосновение контак-

тов ножа или колпачка патрона и губками стоек. «Отпружинивание» контактных губок стоек при входе в них ножа или колпачка патрона должно быть заметно на глаз. Патроны предохранителей не должны выпадать из контактных стоек при приложении к ним усилия, равного для предохранителей, рассчитанных на ток: 40А – усилие 30Н; 100А – 40Н; 250А – 45Н; 400А – 50Н; 600А – 60Н.

Проверка предохранителей при новом включении проводится в следующем объеме:

1. Внешний осмотр, чистка, проверка контактных соединений.
2. Проверка правильности выбора номинального тока плавкой вставки.

В производственных условиях возникают причины, когда необходимо при отсутствии стандартной плавкой вставки заменять ее проводником, который по своим свойствам будет эквивалентен плавкой вставке.

В таблице 2.5 указаны сечения различных проводниковых материалов, пригодных для использования в качестве плавкой вставки предохранителя.

### **Выбор предохранителей для защиты полупроводниковых элементов**

Предохранители для защиты полупроводниковых элементов вставки выбираются по расчетному напряжению, расчетному току, полному джоулевому интегралу  $I^2 \cdot t$  и коэффициенту нагрузочных циклов с учетом прочих заданных условий.

Расчетное напряжение  $U_p$  предохранительной вставки – это напряжение, приводимое в качестве эффективного значения переменного напряжения при формировании данных для заказа и проектирования, а также указываемое на самой предохранительной вставке.

Расчетное напряжение предохранительной вставки выбирается таким образом, чтобы она надежно отключала напряжение, возбуждающее короткое замыкание. Это напряжение не должно превышать значение  $U_p + 10\%$ . При этом необходимо учитывать также тот факт, что напряжение питающей сети УПС выпрямителя переменного тока может увеличиваться на 10%. Если в короткозамкнутой цепи два ответвления схемы выпрямителя переменного тока расположены последовательно, то при достаточно большом токе короткого замыкания можно рассчитывать на равномерное распределение напряжения.

**Значение сечения проволоки для плавкой вставки  
предохранителя в зависимости от тока нагрузки**

Величина тока, А	Свинец, мм <sup>2</sup>	Сплав, мм <sup>2</sup> :		Железо, мм <sup>2</sup>
		75 % – свинец, 25 % – олово	Медь, мм <sup>2</sup>	
1	0,21	–	0,05	0,12
2	0,33	–	0,09	0,19
3	0,43	–	0,11	0,25
4	0,52	–	0,14	0,30
5	0,60	0,62	0,16	0,42
10	0,95	0,98	0,25	0,55
15	1,25	1,28	0,33	0,72
20	1,54	1,56	0,40	0,87
25	1,76	1,80	0,46	1,01
30	1,98	2,04	0,52	1,15
40	2,40	2,47	0,63	1,30
50	2,78	2,86	0,73	1,61
60	3,14	3,24	0,82	1,81
70	3,48	3,59	0,91	2,01
80	3,81	3,92	1,00	2,20
90	4,12	4,24	1,08	2,38
100	4,42	4,56	1,16	2,55
120	4,99	5,14	1,31	2,88
140	5,53	5,70	1,45	3,19
160	6,04	6,23	1,59	3,49
180	6,53	6,74	1,72	3,77
200	7,01	7,23	1,84	4,05

**Режим выпрямления.** Для выпрямителей переменного тока, которые работают только в режиме выпрямления, в качестве возбуждающего напряжения выступает напряжение питающей сети  $U_{ПС}$ .

**Режим инвертирования.** Для выпрямителей переменного тока, которые работают также и в режиме инвертирования, нарушение может быть вызвано опрокидыванием инвертора. При этом в качестве возбуждающего напряжения  $U_{ВН}$  в короткозамкнутой цепи выступает сумма из питающего постоянного напряжения (например, электродвигающая сила машины постоянного тока) и напряжения трехфазного тока питающей сети. Эта сумма при подборе предохранительной вставки может быть заменена переменным напряжением, эффектив-

ное значение которого соответствует 1,8-кратному значению напряжения трехфазного тока питающей сети ( $U_{ВН}=1,8U_{ПС}$ ). Предохранительные вставки должны рассчитываться таким образом, чтобы они надежно размыкали напряжение  $U_{ВН}$ .

Расчетный ток, нагрузочная способность  $I_p$  предохранительной вставки – это ток, приводимый в данных для выбора и заказа, и характеристиках, а также указываемый на предохранительной вставке в качестве эффективного значения переменного тока для диапазона частот 45–62 Гц.

Для работы предохранительной вставки с расчетным током нормальными условиями эксплуатации являются:

- естественное воздушное охлаждение при температуре окружающей среды  $+45^{\circ}\text{C}$ ;
- поперечные сечения присоединений равны контрольным поперечным сечениям, при работе в основаниях предохранителей НН и разъединителях;
- угол отсечки тока полупериода составляет  $120^{\circ}$ ;
- постоянная нагрузка максимальна при расчетном токе.

Для условий эксплуатации, отличающихся от перечисленных выше, допустимый рабочий ток  $I_p'$  [1] предохранительной вставки определяется по следующей формуле:

$$I_p' = k_u \cdot k_q \cdot k_\lambda \cdot k_i \cdot k_{WL} \cdot I_p, \quad (2.12)$$

где  $I_p$  – расчетный ток предохранительной вставки;

$k_u$  – поправочный коэффициент температуры окружающей среды;

$k_q$  – поправочный коэффициент поперечного сечения присоединения;

$k_\lambda$  – поправочный коэффициент угла отсечки тока;

$k_i$  – поправочный коэффициент интенсивного воздушного охлаждения;

$k_{WL}$  – коэффициент нагрузочных циклов.

Коэффициент нагрузочных циклов  $k_{WL}$  – это понижающий коэффициент, при помощи которого может быть определена не изменяющаяся с течением времени нагрузочная способность предохранительных вставок при любых нагрузочных циклах. Предохранительные вставки имеют различные коэффициенты нагрузочных циклов, обусловленные конструкцией. В характеристиках предохранительных вставок указывается соответствующий коэффициент нагрузочных

циклов  $k_{WL}$  для  $> 10\ 000$  изменений нагрузки (1 час «Вкл», 1 час «Откл») в течение ожидаемого срока службы предохранительных вставок.

При равномерной нагрузке (отсутствуют нагрузочные циклы и отключения) можно принять коэффициент нагрузочных циклов  $k_{WL} = 1$ . При нагрузочных циклах и отключениях, которые длятся более, чем 5 мин и осуществляются чаще чем один раз в неделю, следует выбирать коэффициент нагрузочных циклов  $k_{WL}$ , указанный в характеристиках отдельных предохранительных вставок фирм производителей.

Остаточный коэффициент –  $k_{RW}$ .

Предварительная нагрузка предохранительной вставки сокращает продолжительность допустимой перегрузки и времени плавления. При помощи остаточного коэффициента  $k_{RW}$  можно определить время, на протяжении которого предохранительная вставка при периодическом или непериодическом нагрузочном цикле сверх предварительно рассчитанного допустимого тока нагрузки  $I_p'$  может работать с любым током перегрузки  $I_{La}$  без потери первоначальных свойств с течением времени.

Остаточный коэффициент  $k_{RW}$  зависит от предварительной нагрузки  $V = I_{eff}/I_p'$  – (отношения эффективного значения тока  $I_{eff}$ , протекающего через предохранитель во время нагрузочного цикла, к допустимому току нагрузки  $I_p'$ ), а также от частоты перегрузок  $F$ . Графически указанная зависимость представляется двумя кривыми (рис. 2.11):  $k_{RW1} = f(V)$ , при  $F =$  частые ударные токи / токи нагрузочного цикла  $> 1/$  неделю;  $k_{RW2} = f(V)$ , при  $F =$  редкие ударные токи / токи нагрузочного цикла  $< 1/$  неделю.

После определения графическим способом коэффициента  $k_{RW1}$  ( $k_{RW2}$ ) можно определить сокращенную продолжительность допустимой нагрузки  $t_{SC}$  по выражению:

$$t_{SC} = k_{RW1} (k_{RW2}) \cdot t_S.$$

Уменьшение времени плавления предохранительной вставки  $t_{SY}$  при предварительной нагрузке определяется по вычисленному значению  $V$  при помощи заданной кривой  $k_{R3} = f(V)$  (рис. 2.11) по выражению:

$$t_{SY} = k_{R3} \cdot t_S.$$

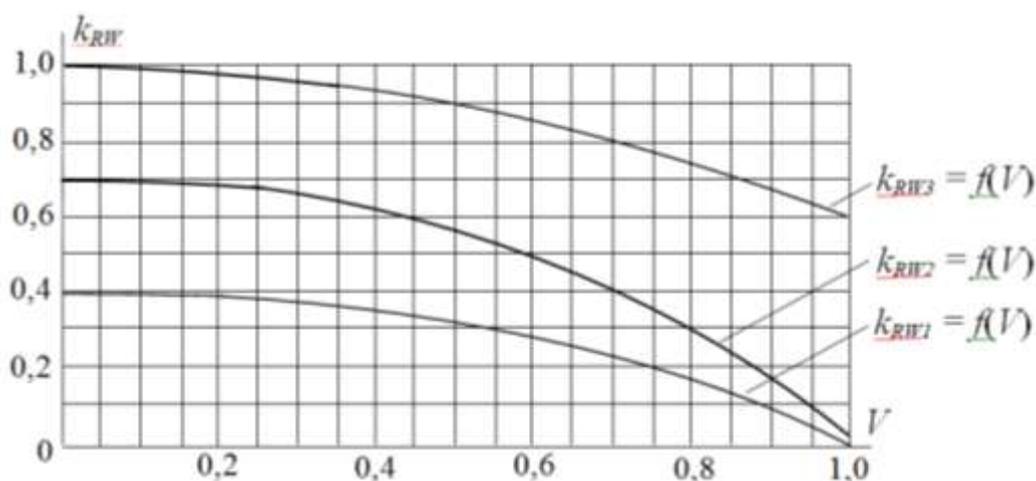


Рис. 2.11. Зависимость остаточного коэффициента от коэффициента предварительной нагрузки

Выпрямители переменного тока работают часто не с непрерывной, а с переменными нагрузками, которые могут также кратковременно превышать расчетный ток выпрямителя переменного тока.

Для случая переменной нагрузки классифицированы четыре типичных вида нагрузки для не изменяющегося с течением времени режима работы предохранительных вставок:

- непрерывная нагрузка (рис. 2.12);
- неизвестная переменная нагрузка, однако с известным максимальным током (рис. 2.13);
- переменная нагрузка с известным нагрузочным циклом (рис. 2.14);
- случайная ударная нагрузка из предварительной нагрузки с неизвестной последовательностью ударных импульсов (рис. 2.15).

Определение требуемого расчетного тока  $I_P$  предохранительной вставки для каждого из четырех видов нагрузки осуществляется в два этапа:

1. Определение расчетного тока  $I_P$  на основе эффективного значения  $I_{eff}$  тока нагрузки:

$$I_P > I_{eff} \cdot (1 / k_u \cdot k_q \cdot k_\lambda \cdot k_i \cdot k). \quad (2.13)$$

2. Проверка допустимой продолжительности перегрузки блоками тока, которые превышают допустимый рабочий ток предохранителя  $I_P$ , с использованием выражения:

$$k_{RW} \cdot t_s \geq t_K, \quad (2.14)$$

где  $t_K$  – продолжительность перегрузки.

Если полученная продолжительность перегрузки окажется меньшей, чем соответствующая требуемая продолжительность перегрузки, то следует выбрать предохранительную вставку с более высоким расчетным током  $I_p$  (с учетом расчетного напряжения  $U_p$  и допустимого полного джоулевого интеграла) и повторить проверку.

### Пример выбора предохранителя

Для вентильной группы выпрямителя в шестипульсовой мостовой схеме, чей расчетный постоянный ток составляет  $I_d = 850$  А, необходимо выбрать плавкие вставки для предохранителя в ответвлениях. Выбор предохранителя приведен для указанных выше четырех типичных видов нагрузки.

Параметры вентильной группы выпрямителя:

– напряжение питающей сети:

$$U_N = 3 \text{ AC } 50 \text{ Гц } 400 \text{ В};$$

– восстанавливающее напряжение:

$$U_W = 360 \text{ В} = U_N \cdot 0,9 \text{ (при опрокидывании инвертора);}$$

– тиристор Т 508N (фирмы Еures)

интеграл предельной нагрузки:  $\int I^2 dt = 320 \cdot 10^3 \text{ А}^2\text{с}$  (10 мс, холодный);

– предохранительные вставки с естественным охлаждением, температура окружающей среды  $t_u = +35^\circ\text{C}$ ;

– поперечное сечение присоединения для предохранительных вставок, медь:  $160 \text{ мм}^2$ ;

– эффективное значение тока ответвления (рабочий ток предохранителя)  $I_{La} = I_d \cdot 0,58$ .

Постоянная, непрерывная нагрузка:

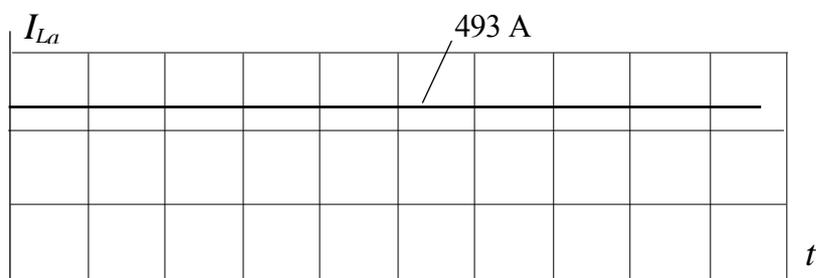


Рис. 2.12. Изменение тока нагрузки

Постоянный ток:  $I_d = 850$  А.

$$I_{\text{eff}} = I_{La} = I_d \cdot 0,58 = 493 \text{ А.}$$

В соответствии с рекомендациями [3] выбрана предохранительная вставка SITOR 3NE3 335 (560 А / 1000 В),  $k_{WL} = 1$ .

Полный джоулевый интеграл:

$$\int I^2 \cdot tA = 360 \cdot 103 \cdot 0,53 = 191 \cdot 103 \text{ A}^2\text{c}.$$

Контрольное поперечное сечение [3]: 400 мм<sup>2</sup>.

В соответствии с номограммами, приведенными в [3], необходимо применить следующие поправочные коэффициенты:

$$k_u = 1,02 \text{ (} t_u = +35^\circ\text{C)};$$

$k_q = 0,91$  (поперечное сечение присоединения с обеих сторон 40 % от контрольного поперечного сечения);

$$k_\lambda = 1,0 \text{ (угол отсечки тока } \lambda = 120^\circ);$$

$$k_i = 1,0 \text{ (интенсивное воздушное охлаждение отсутствует).}$$

Требуемый расчетный ток  $I_P$  предохранителя:

$$I_P = I_{La} \cdot (1/k_u \cdot k_q \cdot k_\lambda \cdot k_i \cdot k_{WL}) = 493 \cdot (1/1,02 \cdot 0,91 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0) = 531$$

А.

Проверка: 560 А > 531 А.

Неизвестная переменная нагрузка с известным максимальным током  $I_{МАКС}$ .

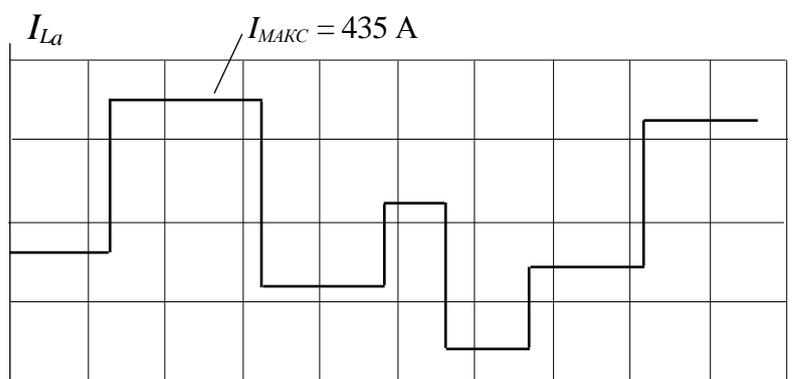


Рис. 2.13. Изменение тока нагрузки

$$I_{\text{eff}} = I_{МАКС} = 435 \text{ А.}$$

В соответствии с рекомендациями [3] выбрана предохранительная вставка SITOR 3NE3 334-0В (560 А / 1000 В),  $k_{WL} = 1$ .

Полный джоулевый интеграл:

$$\int I^2 \cdot tA = 260 \cdot 103 \cdot 0,53 = 138 \cdot 103 \text{ A}^2\text{c}.$$

Контрольное поперечное сечение [3]: 400 мм<sup>2</sup>.

Применяем следующие поправочные коэффициенты:

$$k_u = 1,02 \text{ (} t_u = +35^\circ\text{C)};$$

$k_q = 0,91$  (поперечное сечение присоединения с обеих сторон 40 % от контрольного поперечного сечения);

$k_\lambda = 1,0$  (угол отсечки тока  $\lambda=120^\circ$ );

$k_i = 1,0$  (интенсивное воздушное охлаждение отсутствует).

Требуемый расчетный ток IP предохранителя

$$I_P = I_{La} \cdot (1/k_u \cdot k_q \cdot k_\lambda \cdot k_i \cdot k_{WL}) = 435 \cdot (1/1,02 \cdot 0,91 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0) = 469$$

А.

Проверка:  $560 \text{ A} > 469 \text{ A}$ .

Переменная нагрузка с известным нагрузочным циклом:

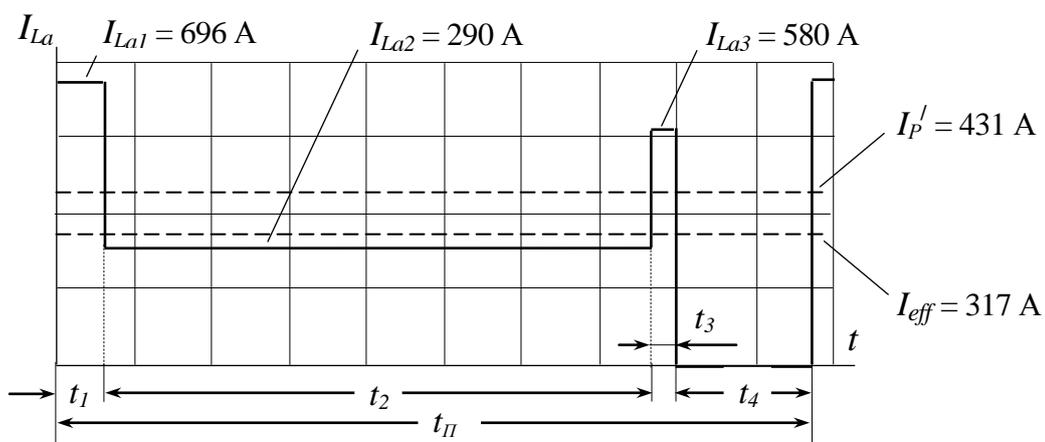


Рис. 2.14. Изменение тока нагрузки

Постоянный ток:

$I_{d1} = 1200 \text{ A}$ ,  $t_1 = 20 \text{ с}$  (рис. 2.14);

$I_{d2} = 500 \text{ A}$ ,  $t_2 = 240 \text{ с}$ ;

$I_{d3} = 1000 \text{ A}$ ,  $t_3 = 10 \text{ с}$ ;

$I_{d4} = 0 \text{ A}$ ,  $t_4 = 60 \text{ с}$ .

Ток, протекающий через предохранитель:

$I_{La1} = 1200 \cdot 0,58 = 696 \text{ A}$  (рис. 2.14);

$I_{La2} = 500 \cdot 0,58 = 290 \text{ A}$ ;

$I_{La3} = 1000 \cdot 0,58 = 580 \text{ A}$ ;

$I_{La4} = 0 \cdot 0,58 = 0 \text{ A}$ .

Эффективное значение рабочего тока:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{I_{La1}^2 \cdot t_1 + I_{La2}^2 \cdot t_2 + I_{La3}^2 \cdot t_3}{t_{II}}} = \sqrt{\frac{696^2 \cdot 20 + 290^2 \cdot 240 + 580^2 \cdot 10}{330}} = 317 \text{ A}.$$

В соответствии с рекомендациями [3] выбрана предохранительная вставка SITOR 3NE3 333 (450 A / 1000 В),  $k_{WL} = 1$ .

Полный джоулевый интеграл:

$$\int I^2 \cdot t \, dt = 175 \cdot 103 \cdot 0,53 = 93 \cdot 103 \text{ А}^2\text{с}.$$

Контрольное поперечное сечение [3]:  $320 \text{ мм}^2$ .

Применяем следующие поправочные коэффициенты:

$$k_u = 1,02 \text{ (} t_u = +35^\circ\text{C)};$$

$k_q = 0,94$  (поперечное сечение присоединения с обеих сторон 50 % от контрольного поперечного сечения);

$$k_\lambda = 1,0 \text{ (угол отсечки тока } \lambda = 120^\circ);$$

$$k_i = 1,0 \text{ (интенсивное воздушное охлаждение отсутствует)}.$$

1. Требуемый расчетный ток  $I_p$  предохранителя:

$$I_p = I_{\text{eff}} \cdot (1/k_u \cdot k_q \cdot k_\lambda \cdot k_i \cdot k_{WL}) = 317 \cdot (1/1,02 \cdot 0,94 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0) = 331 \text{ А}.$$

Проверка:  $450 \text{ А} > 331 \text{ А}$ .

Допустимый рабочий ток  $I_p'$  выбранной предохранительной вставки:

$$I_p' = k_u \cdot k_q \cdot k_\lambda \cdot k_i \cdot k_{WL} \cdot I_p = 1,02 \cdot 0,94 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 450 = 431 \text{ А}.$$

2. Проверка допустимой продолжительности перегрузки блоками тока, которые превышают допустимый рабочий ток предохранителя  $I_p'$ .

Предварительный коэффициент нагрузки:

$$V = I_{\text{eff}} / I_p' = 317/431 = 0,74$$

Из кривой  $k_{RW1} = f(V)$  (рис. 11) определяем величину  $k_{RW1}$  для  $V = 0,74$ , имеем  $k_{RW1} = 0,2$ .

Определяем сокращенную продолжительность допустимой нагрузки  $t_{SC}$  для соответствующего блок тока по выражению:

$$t_{SC} = k_{RW1} \cdot t_s, \quad (2.15)$$

где  $t_s$  – время плавления вставки для токов  $I_{La1}$  и  $I_{La3}$ , протекающих через предохранитель (из времятоковой характеристики для ЗНЕЗ 333) [9].

$$\text{Имеем: } t_{s1} = 230 \text{ с}, t_{s3} = 1200 \text{ с}.$$

$$\text{Тогда } t_{s1C} = k_{RW1} \cdot t_{s1} = 0,2 \cdot 230 = 46 \text{ с};$$

$$t_{s3C} = k_{RW1} \cdot t_{s3} = 0,2 \cdot 1200 = 240 \text{ с}.$$

$$\text{Проверка: } t_{s1C} = 46 \text{ с} > t_1 = 20 \text{ с};$$

$$t_{s3C} = 240 \text{ с} > t_3 = 10 \text{ с}.$$

Случайная ударная нагрузка из предварительной нагрузки с неизвестной последовательностью ударных импульсов.

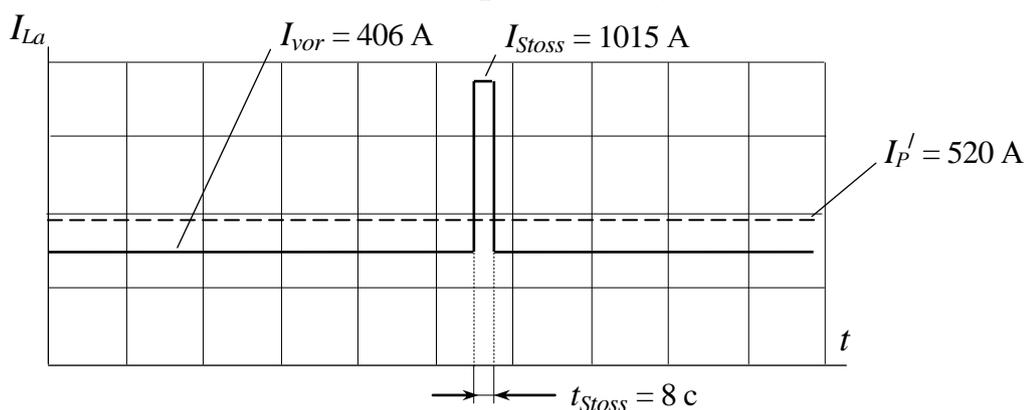


Рис. 2.15. Изменение тока нагрузки

$$I_{\text{eff}} = I_{\text{vor}}, \quad (2.16)$$

где  $I_{\text{vor}}$  – ток предварительной нагрузки (рис. 2.15);

$I_{\text{Stoss}}$  – ток перегрузки;

$t_{\text{Stoss}}$  – продолжительность перегрузки ( $t_{\text{Stoss}} = 8$  с).

Постоянный ток: Ток, протекающий через предохранитель:

$$I_{\text{dvor}} = 700 \text{ A} \quad I_{\text{vor}} = I_{\text{dvor}} \cdot 0,58 = 406 \text{ A};$$

$$I_{\text{dStoss}} = 1750 \text{ A} \quad I_{\text{Stoss}} = I_{\text{dStoss}} \cdot 0,58 = 1015 \text{ A}.$$

Периодичность и продолжительность ударных импульсов нагрузки должна удовлетворять следующим условиям –  $t_{\text{pausa}} \geq 3 \cdot t_{\text{Stoss}}$  и  $t_{\text{pausa}} \geq 5$  мин.

В соответствии с рекомендациями [3] выбрана предохранительная вставка SITOR 3NE3 333 (560 А / 1000 В),  $k_{\text{WL}} = 1$ .

Полный джоулевый интеграл

$$\int I^2 \cdot t \text{ A} = 360 \cdot 103 \cdot 0,53 = 191 \cdot 103 \text{ A}^2 \text{ c}.$$

Контрольное поперечное сечение [3]:  $400 \text{ мм}^2$ .

Применяем следующие поправочные коэффициенты:

$$k_u = 1,02 \quad (t_u = +35^\circ \text{C});$$

$k_q = 0,91$  (поперечное сечение присоединения с обеих сторон 40 % от контрольного поперечного сечения);

$$k_\lambda = 1,0 \quad (\text{угол отсечки тока } \lambda = 120^\circ);$$

$$k_i = 1,0 \quad (\text{интенсивное воздушное охлаждение отсутствует}).$$

1. Требуемый расчетный ток  $I_p$  предохранителя

$$I_p = I_{\text{vor}} \cdot (1 / k_u \cdot k_q \cdot k_\lambda \cdot k_i \cdot k_{\text{WL}}) = 406 \cdot (1 / 1,02 \cdot 0,91 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0) = 437 \text{ A}.$$

Проверка:  $450 \text{ A} > 437 \text{ A}$ .

Допустимый рабочий ток  $I_P'$  выбранной предохранительной вставки:

$$I_P' = k_u \cdot k_q \cdot k_\lambda \cdot k_i \cdot k_{WL} \cdot I_P = 1,02 \cdot 0,91 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 560 = 520 \text{ А.}$$

2. Проверка допустимой продолжительности перегрузки пиковым током  $I_{Stoss}$ .

Предварительный коэффициент нагрузки:

$$V = I_{vor} / I_P' = 406 / 520 = 0,78.$$

Из кривой  $k_{RW1} = f(V)$  (рис. 2.11) определяем величину  $k_{RW1}$  для  $V = 0,78$ , имеем  $k_{RW1} = 0,18$ .

Определяем сокращенную продолжительность допустимой нагрузки  $t_{SC}$  для ударного тока по выражению:

$$t_{SC} = k_{RW1} \cdot t_S, \quad (2.17)$$

где  $t_S$  – время плавления вставки для ударного тока  $I_{Stoss} = 1015 \text{ А}$ , протекающих через предохранитель (из времятоковой характеристики для ЗНЕЗ 333) [9].

Имеем:  $t_S = 110 \text{ с}$ .

Тогда  $t_{SC} = k_{RW1} \cdot t_S = 0,18 \cdot 110 = 19,8 \text{ с}$ .

Проверка:  $t_{SC} = 19,8 \text{ с} > t_{Stoss} = 8 \text{ с}$ .

## Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Основные типы предохранителей, применяемые для защиты электроустановок и электрических цепей.
3. Расчет и выбор предохранителя по индивидуальному заданию.
4. Ответы на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. По каким конструктивным признакам различаются плавкие предохранители?
2. Дайте расшифровку обозначения плавких предохранителей.
3. Опишите конструкцию предохранителя ПР-2.
4. Опишите конструкцию предохранителя НПР.
5. Опишите конструкцию предохранителя ПНБ.
6. В чем отличие предохранителей ПН от ПНБ-7?
7. Область применения предохранителей ПП57 и ПП60С.
8. Область применения предохранителей ППНИ.

9. В чем отличие предохранителей ППНИ от ПН-2?
10. Как рассчитывают ток плавкой вставки для различной нагрузки?
11. Что такое селективность защиты?
12. Что такое времятоковая характеристика предохранителя?
13. Какие преимущества у предохранителей типа ППНИ перед другими типами предохранителей?
14. Как обеспечить селективность последовательно включенных плавких вставок?
15. Как проверяется соприкосновение контактов ножей предохранителя с губками стоек?

### **Библиографический список**

1. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 464 с.
2. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. для вузов / И.Р. Владыкин, А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева [и др.]. – М.: КолосС, 2007.
3. Сибикин, Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учеб. пособие для проф. учеб. заведений / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Высшая школа, 2003.
4. Акимова, Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: учеб. пособие / Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин; под ред. Н.Ф. Котеленца. – 3-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2005.
5. Костенко, Е.М. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного и бытового электрооборудования: практ. пособие для электромонтера / Е.М. Костенко. – М.: НЦ ЭНАС, 2005.
6. EKF electrotechnica [Официальный сайт] URL: <http://ekfgroup.com/produktsiya> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
7. КЭАЗ – Курский электроаппаратный завод [Официальный сайт] URL: <http://keaz.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
8. IEK – Интерэлектрокомплект [Официальный сайт] URL: <http://www.iek.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
9. Siemens – Электротехническая продукция [Официальный сайт] URL: <http://electrosiemens.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).

## Лабораторная работа 3

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

#### Цель работы

Изучить устройство, конструктивные особенности автоматических выключателей (АВ), структуру условного обозначения.

Усвоить методику расчёта и выбора автоматических выключателей.

Усвоить методы испытания расцепителей АВ.

#### Задание к работе

1. По методическим указаниям и набору автоматических выключателей изучить конструкцию, защитные характеристики и маркировку автоматических выключателей.

2. По заданию преподавателя произвести расчёт и выбрать тип автоматического выключателя для электроустановки или распределительной сети.

3. Провести исследование времятоковой характеристики АВ, предложенного для испытаний преподавателем.

#### Общие сведения

Автоматический выключатель (механический) [4](МЭС 441-14-20): механический коммутационный аппарат, способный включать, проводить и отключать токи при нормальном состоянии цепи, а также включать, проводить в течение заданного времени и автоматически отключать токи в указанном аномальном состоянии цепи, таких как токи короткого замыкания.

Механический коммутационный аппарат [4](МЭС 441-14-02): коммутационный аппарат, предназначенный для замыкания и размыкания одной или более электрических цепей с помощью разъединяемых контактов.

Коммутационный аппарат (МЭС 441-14-01): аппарат, предназначенный для включения или отключения тока в одной или более электрических цепях.

Характеристики АВ установлены в следующих терминах:

- тип выключателя;
- номинальные и предельные значения параметров главной цепи;

- категории применения;
- цепи управления;
- вспомогательные цепи;
- расцепители;
- встроенные плавкие предохранители (выключатели со встроенными плавкими предохранителями) по [4](4.8 МЭК 60947-1);
- коммутационные перенапряжения по (4.9 МЭК 60947-1).

В соответствии с МЭК 60050 (441), применительно к АВ общеприняты нижеследующие термины:

- главная цепь АВ: совокупность всех токопроводящих частей автоматического выключателя, входящих в цепь, которую он предназначен замыкать и размыкать;

- цепь управления АВ: цепь (кроме главной цепи), предназначенная для осуществления замыкания или размыкания, или осуществления обеих функций автоматического выключателя;

- вспомогательная цепь АВ: совокупность токопроводящих частей автоматического выключателя, предназначенных для включения в цепь, кроме главной цепи и цепи управления автоматического выключателя;

- полюс АВ: часть автоматического выключателя, связанная исключительно с одним электрически независимым токопроводящим путем главной цепи и имеющая контакты, предназначенные для замыкания и размыкания главной цепи, и не включающая элементы, предназначенные для монтажа и оперирования всеми полюсами;

- главный контакт: контакт, включенный в главную цепь АВ и предназначенный для проведения в замкнутом положении тока главной цепи;

- дугогасительный контакт (МЭС 441–15–08): контакт, на котором предполагается возникновение дуги;

- контакт управления: контакт, входящий в цепь управления АВ и механически приводимый в действие этим автоматическим выключателем;

- вспомогательный контакт: контакт, входящий во вспомогательную цепь и механически приводимый в действие АВ (например, для указания положения контактов);

- расцепитель: устройство, механически связанное с автоматическим выключателем (или встроенное в него), которое освобождает

удерживающее устройство в механизме автоматического выключателя и вызывает автоматическое срабатывание выключателя;

– максимальный расцепитель тока: расцепитель, вызывающий срабатывание автоматического выключателя с выдержкой времени или без нее, когда ток в этом расцепителе превышает заданное значение;

– максимальный расцепитель тока прямого действия: максимальный расцепитель тока, срабатывающий непосредственно от протекающего тока в главной цепи автоматического выключателя;

– расцепитель перегрузки: максимальный расцепитель тока, предназначенный для защиты от перегрузок;

– выключатель со свободным расцеплением: автоматический выключатель, подвижные контакты которого возвращаются в разомкнутое положение и остаются в нем, когда операция автоматического размыкания начинается после начала операции замыкания, даже если сохраняется команда на замыкание;

– ожидаемый ток АВ [4](МЭС 441-17-01): ток, который протекал бы в цепи, если бы каждый полюс автоматического выключателя был заменен проводником с ничтожно малым сопротивлением;

– ожидаемый пиковый ток [4](МЭС 441-17-02): пиковое значение ожидаемого тока во время переходного периода после его возникновения;

– наибольшая включающая и отключающая способность: переменная составляющая ожидаемого тока, выраженная его действующим значением, которую АВ может включать, проводить в течение времени отключения и отключать при указанных условиях;

– ток отключения: ток в полюсе выключателя в момент возникновения дуги при отключении;

– время размыкания: время, замеренное от момента, когда в АВ, находящемся в замкнутом положении, ток в главной цепи достигает уровня срабатывания максимального расцепителя тока, до момента разъединения дугогасительных контактов во всех полюсах;

– время горения дуги в полюсе [4](МЭС 441-17-37): интервал между моментом появления дуги и моментом окончательного гашения дуги в этом полюсе;

– время горения дуги в многополюсном АВ: интервал между моментом первого появления дуги и моментом окончательного гашения дуг во всех полюсах;

– время отключения: интервал между началом размыкания АВ и концом времени горения дуги;

–  $\int I^2 dt$  (интеграл Джоуля): интеграл квадрата силы тока по данному интервалу времени;

– характеристика  $I^2 t$  автоматического выключателя: кривая, отражающая максимальные значения  $I^2 t$  как функцию ожидаемого тока в указанных условиях эксплуатации.

Все АВ можно классифицировать по основным параметрам:

1. Тока в цепи: постоянный, переменный, смешанный.

2. Количества полюсов: от одного до четырех.

3. Типа расцепителя:

– электромагнитный или электронный расцепитель максимального тока мгновенного или замедленного действия с практически независимой от тока скоростью срабатывания;

– электротермический или электронный инерционный расцепитель максимального тока с зависимой от тока выдержкой времени;

– расцепитель тока утечки;

– расцепитель минимального напряжения;

– расцепитель обратного тока или обратной мощности;

– независимый расцепитель (для дистанционного отключения выключателя).

Первые два типа устанавливают во всех полюсах, остальные расцепители – по одному на автоматический выключатель. Токи уставки, а также выдержки времени токовых расцепителей могут быть регулируемыми. В одном АВ можно применять один или несколько типов токовых расцепителей и дополнительно к ним расцепитель минимального напряжения, независимый расцепитель и электромагнит включения [16].

Расцепители тока утечки устройства защитного отключения применяют для быстрого отключения участков сети, в которых из-за нарушения изоляции или прикосновения людей к проводникам возникает ток утечки на землю. При этом ток уставки расцепителя выбирают в пределах от 10 до 30 мА, а время, в зависимости от напряжения сети, в пределах от 10 до 100 мс.

Расцепители минимального напряжения применяют в целях отключения источников питания при прекращении ими питания сети, а также в целях отключения электроприемников, самозапуск которых

при автоматическом восстановлении питания нежелателен или недопустим. Напряжение срабатывания расцепителя выбирают в пределах от 0,8 до 0,9  $U_{ном}$ , время срабатывания – в соответствии с требованиями систем автоматического восстановления питания сети.

Расцепители обратного тока или обратной мощности применяют для защиты генераторов, работающих на электрическую систему, от выпадения из синхронизма (для синхронных генераторов).

Независимые расцепители применяют для местного дистанционного и автоматического отключения АВ при срабатывании внешних защитных устройств.

4. Тип корпуса: с креплением на DIN-рейку, стационарный.

5. Ограничение по максимальному току: наличие, отсутствие.

6. Время срабатывания: по времени срабатывания электромагнитные и аналогичные им электронные расцепители имеют четыре разновидности:

– расцепители, обеспечивающие срабатывание АВ за время, намного меньшее 0,01 с, и отключение тока КЗ раньше, чем он достигает своего ударного значения. Такие АВ называют токоограничивающими (рис. 3.1).

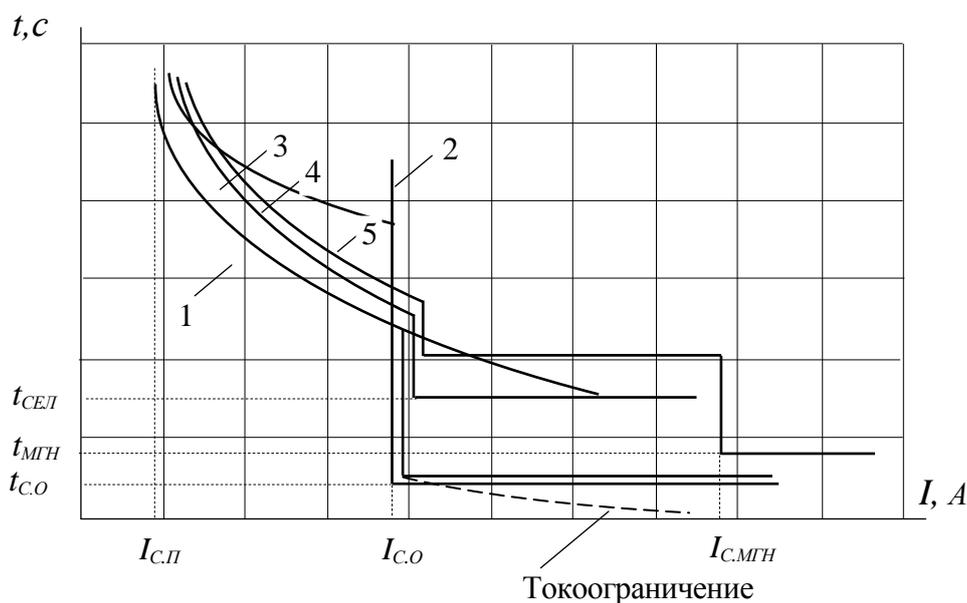


Рис. 3.1. Защитные характеристики автоматических выключателей

– расцепители, обеспечивающие отключение тока КЗ при первом прохождении тока через нулевое значение ( $I_c = 0,01$  с);

– нерегулируемые расцепители, время срабатывания которых превышает 0,01 с;

– расцепители с регулируемой выдержкой времени (0,1–0,7с), позволяющие добиться замедленной работы относительно других щитков той же сети; их называют селективными.

Автоматические выключатели могут иметь следующие защитные характеристики (см. рис. 3.1):

– зависимую от тока характеристику времени срабатывания (тепловой расцепитель) (кривая 1);

– независимую от тока характеристику времени срабатывания (электромагнитный расцепитель) (кривая 2);

– ограниченно зависимую от тока двухступенчатую характеристику времени срабатывания (комбинированный расцепитель) без выдержки времени (кривая 3) или с выдержкой времени (кривая 4). Эти АВ называют селективными.

Селективные АВ могут иметь и трехступенчатую защитную характеристику (кривая 5); зона мгновенного срабатывания предназначена для уменьшения длительности воздействия токов при близких КЗ.

Автоматические выключатели, имеющие ограниченно зависимую от тока двухступенчатую характеристику времени срабатывания без выдержки времени (рис. 3.1, кривая 3), разделяются на типы и обозначаются буквами А, В, С, D, К, Z, МА.

Тип А. Применение таких АВ (рис. 3.2) рекомендовано в случае нагрузки в виде полупроводниковых приборов и в электроустановках с повышенной протяженностью электрической сети.

Верхняя часть графика (рис. 3.2) показывает зависимость времени отключения теплового расцепителя (биметаллической пластины) от тока перегрузки. Нижняя заштрихованная область графика показывает скорость срабатывания при коротком замыкании.

Весьма широкая зона значений на графике (рис. 3.2) обусловлена сильным разбросом параметров АВ от температуры как от внешней, так и от внутренней.

Внутренний нагрев обусловлен проходящим через АВ электрическим током, который достигает кратных значений в аварийных режимах.

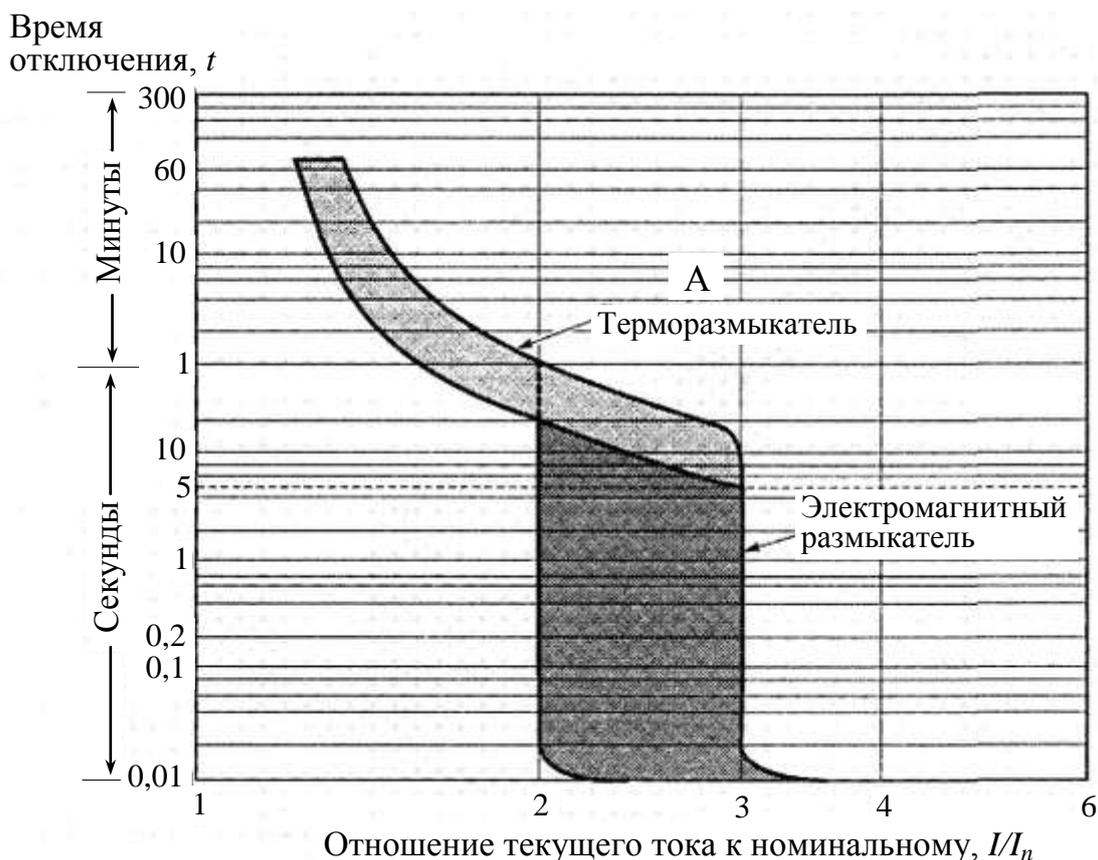


Рис. 3.2. Времятоковая характеристика автоматического выключателя, тип А

Тип В. Применение таких АВ (рис. 3.3) рекомендовано при электромонтажных работах в случае нагрузки в виде бытовых осветительных приборов и для защиты цепей с небольшой величиной кратности токов запуска.

Электромагнитный расцепитель реагирует на 3–5-кратное превышение номинального тока на переменном токе (зона АС) и 3–7,5-кратное на постоянном токе (зона DC).

Разделение на зоны АС и DC обусловлено большим нагревом автоматического выключателя на постоянном токе, чем на переменном.

Тип С. Автоматические выключатели с времятоковой характеристикой типа С (рис. 3.4) применяются для защиты осветительных электрических сетей и электродвигателей с не очень большими пусковыми токами.

Электромагнитный расцепитель реагирует на 5–10-кратное превышение номинального тока на переменном токе (зона АС) и 5–15-кратное на постоянном токе (зона DC).

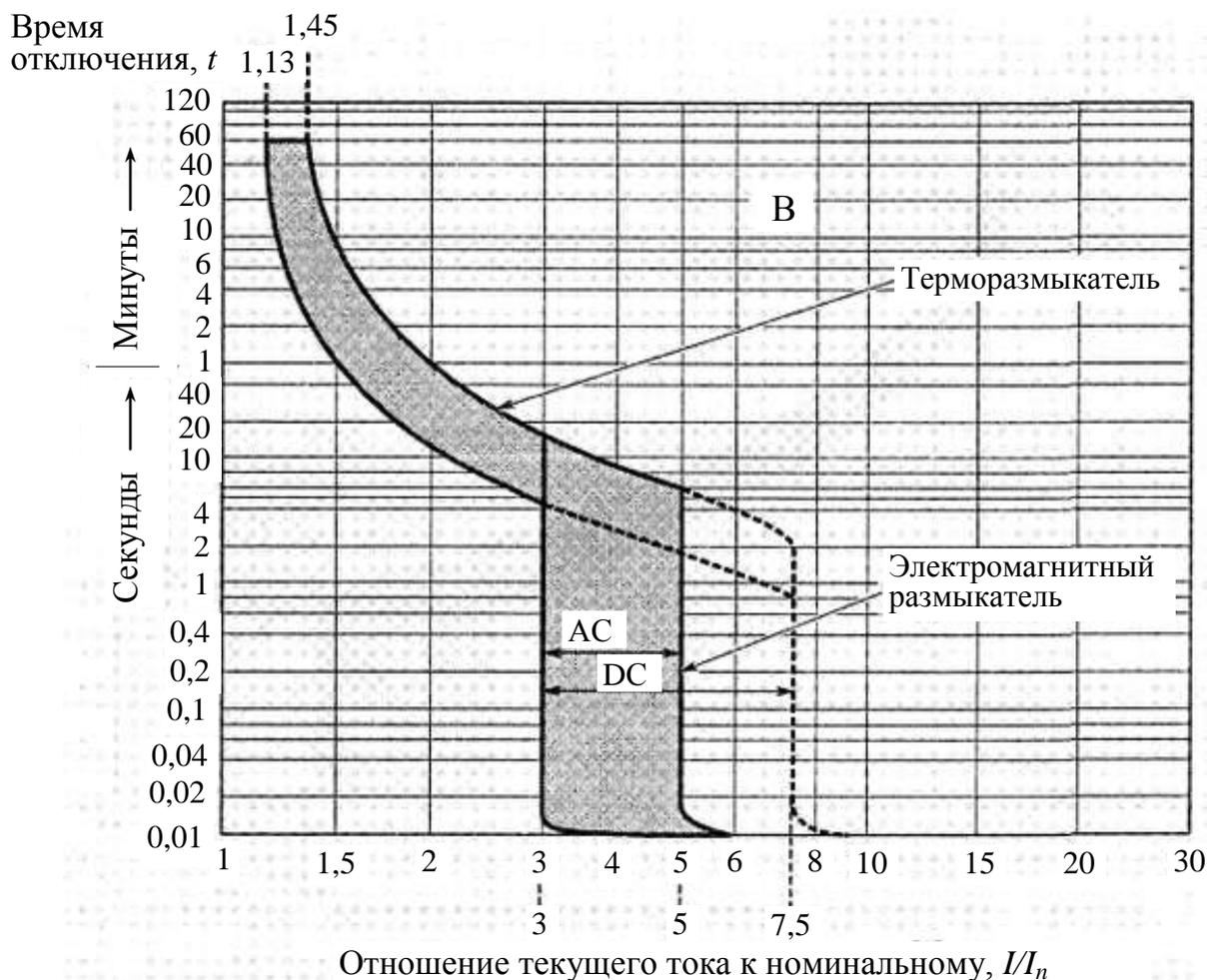


Рис. 3.3. Времятоковая характеристика автоматического выключателя типа В

Тип D. Автоматические выключатели с времятоковой характеристикой типа D (рис. 3.5) применяются для защиты активно-индуктивных электрических цепей и двигателей с тяжелым пуском (например, транспортер на ферме, убирающий навоз).

Электромагнитный расцепитель реагирует на 10–20-кратное превышение номинального тока на переменном токе (зона AC) и 10–30-кратное на постоянном токе (зона DC).

Тип К. Автоматические выключатели с времятоковой характеристикой типа К (рис. 3.6) применяются для защиты индуктивной нагрузки (электродвигатели, трансформаторы и т. п.).

Электромагнитный расцепитель реагирует на 8–12-кратное превышение номинального тока на переменном токе (зона AC) и 8–18-кратное на постоянном токе (зона DC).

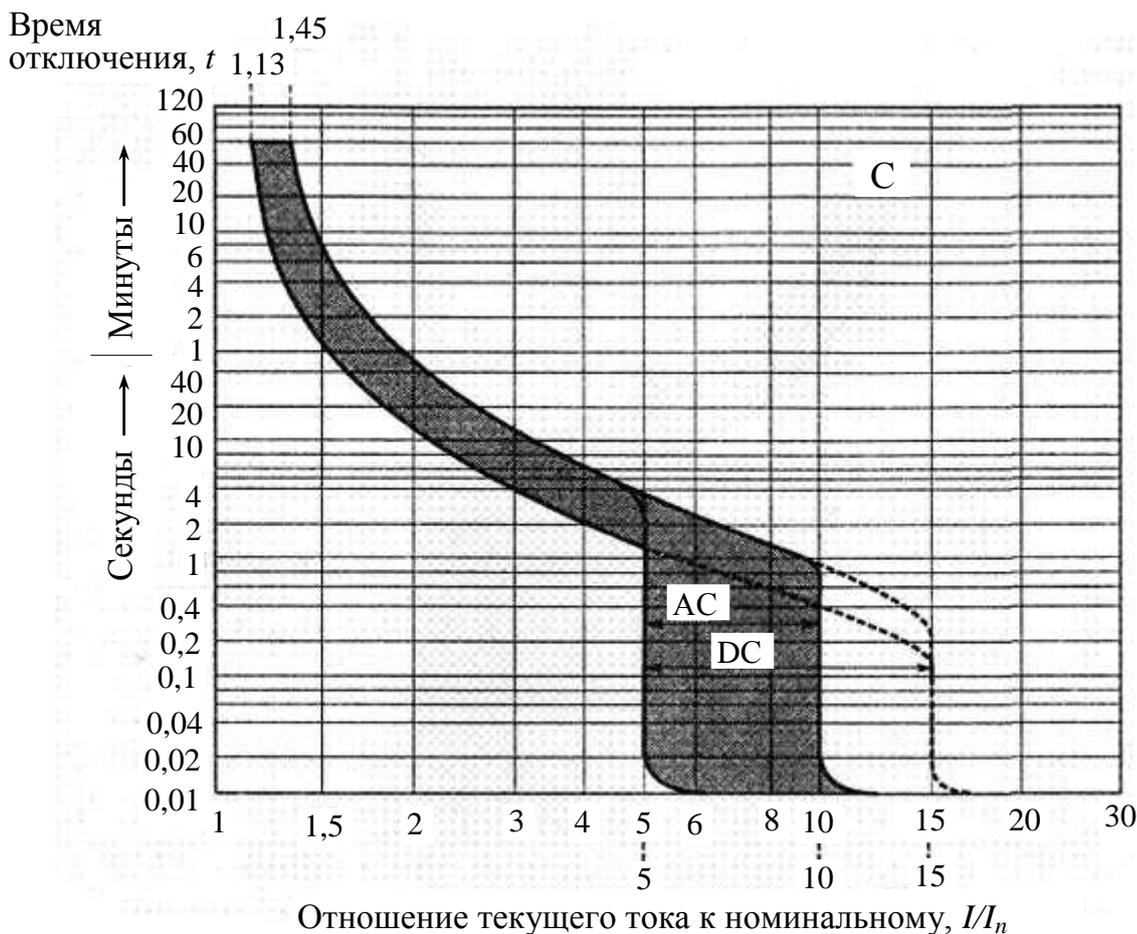


Рис. 3.4. Времятоковая характеристика автоматического выключателя типа С

Тип Z. Автоматические выключатели с времятоковой характеристикой типа Z (рис. 3.7) так же, как и с характеристикой типа А, применяются для защиты электронных (полупроводниковых) нагрузок.

Электромагнитный расцепитель реагирует на 2–3-кратное превышение номинального тока на переменном токе (зона AC) и 3–4,5-кратное на постоянном токе (зона DC).

Тип МА. Автоматические выключатели с времятоковой характеристикой типа МА так же, как и с характеристикой типа К, применяются в цепях питания электродвигателей, но оборудованы только электромагнитным элементом защиты.

Независимо от назначения и быстродействия автоматических выключателей в их состав входят следующие основные элементы:

- главная контактная система (главные контакты);

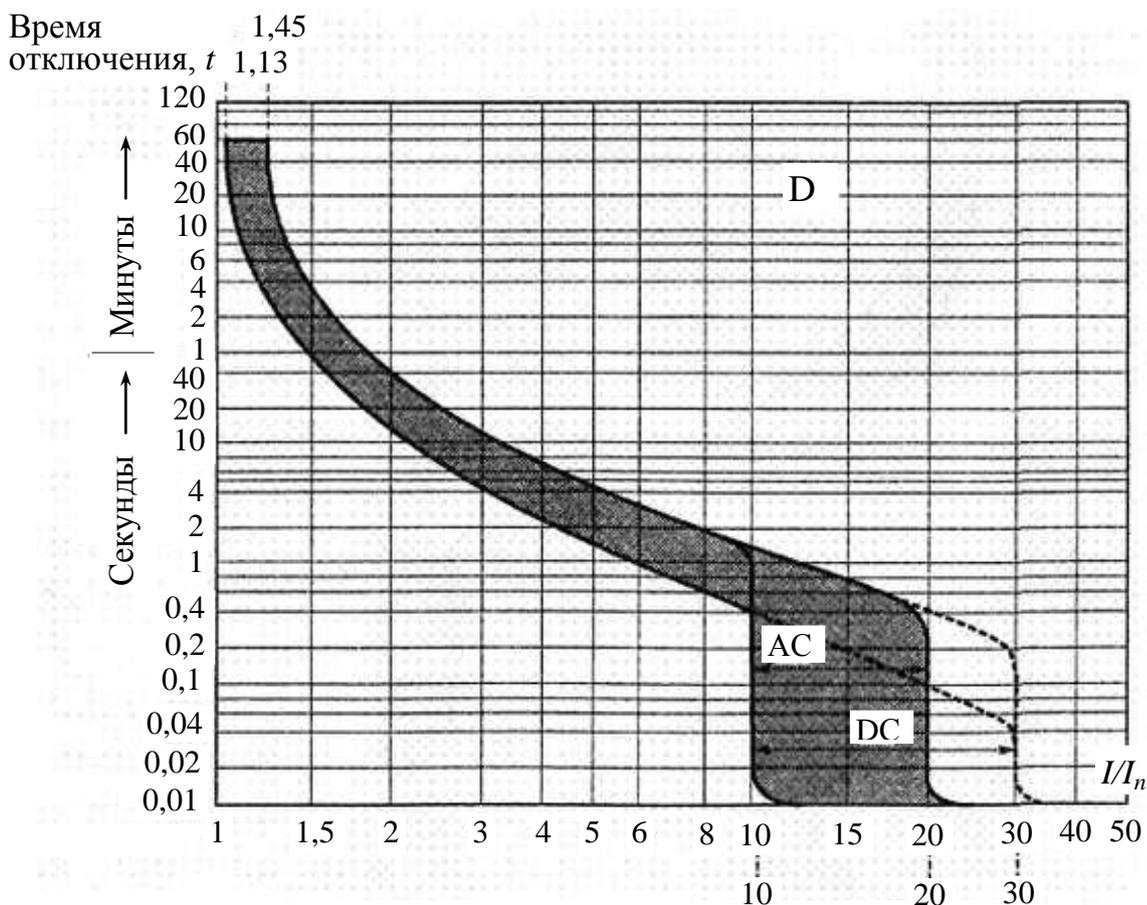


Рис. 3.5. Времятоковая характеристика автоматического выключателя тип D

- дугогасящая система;
- привод;
- расцепляющее устройство;
- расцепители;
- вспомогательные контакты.

*Главная контактная система* – важнейший элемент АВ, определяющий его основные параметры. Она должна: обеспечивать, не перегреваясь и не окисляясь, продолжительный режим работы при номинальном токе; быть способной, не повреждаясь, включать и отключать большие токи короткого замыкания.

В связи с этим в АВ на средние и большие токи с высокой отключающей способностью применяются многоступенчатые контактные системы, состоящие, например, из основных и дугогасящих контактов.

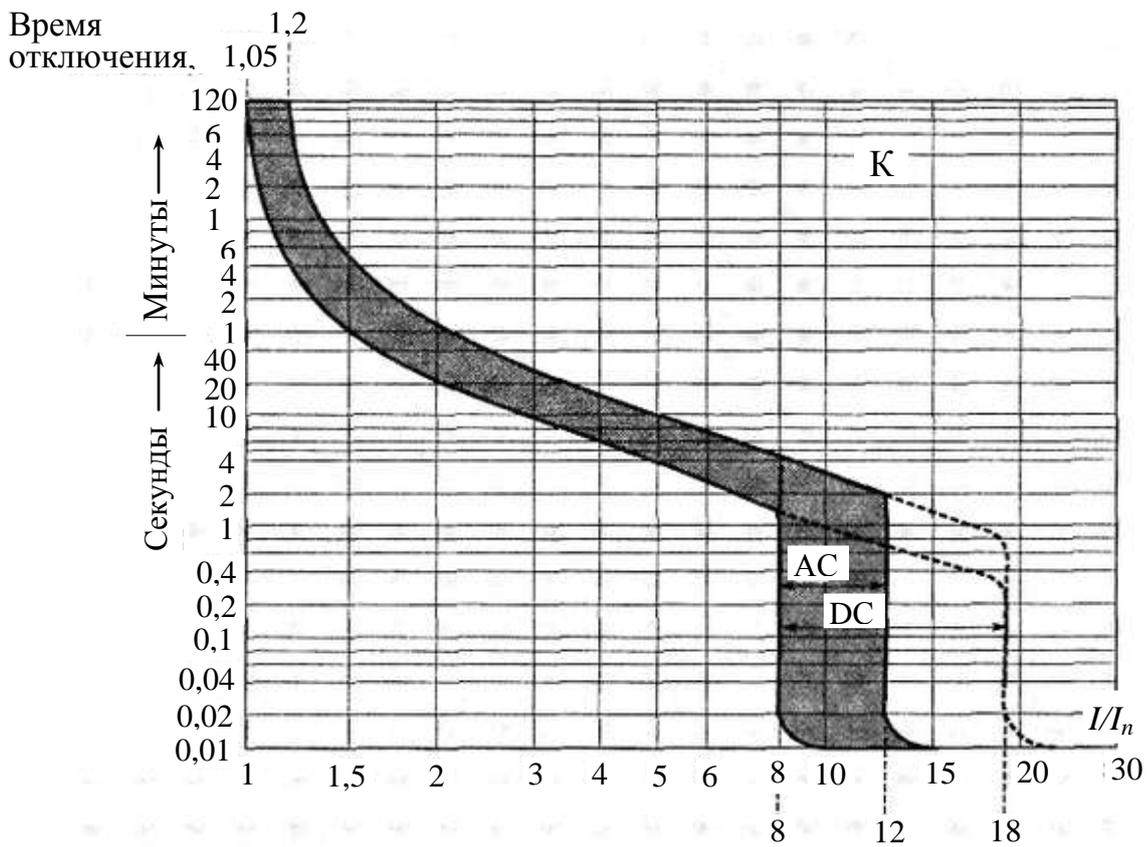


Рис. 3.6. Времятоковая характеристика автоматического выключателя типа К

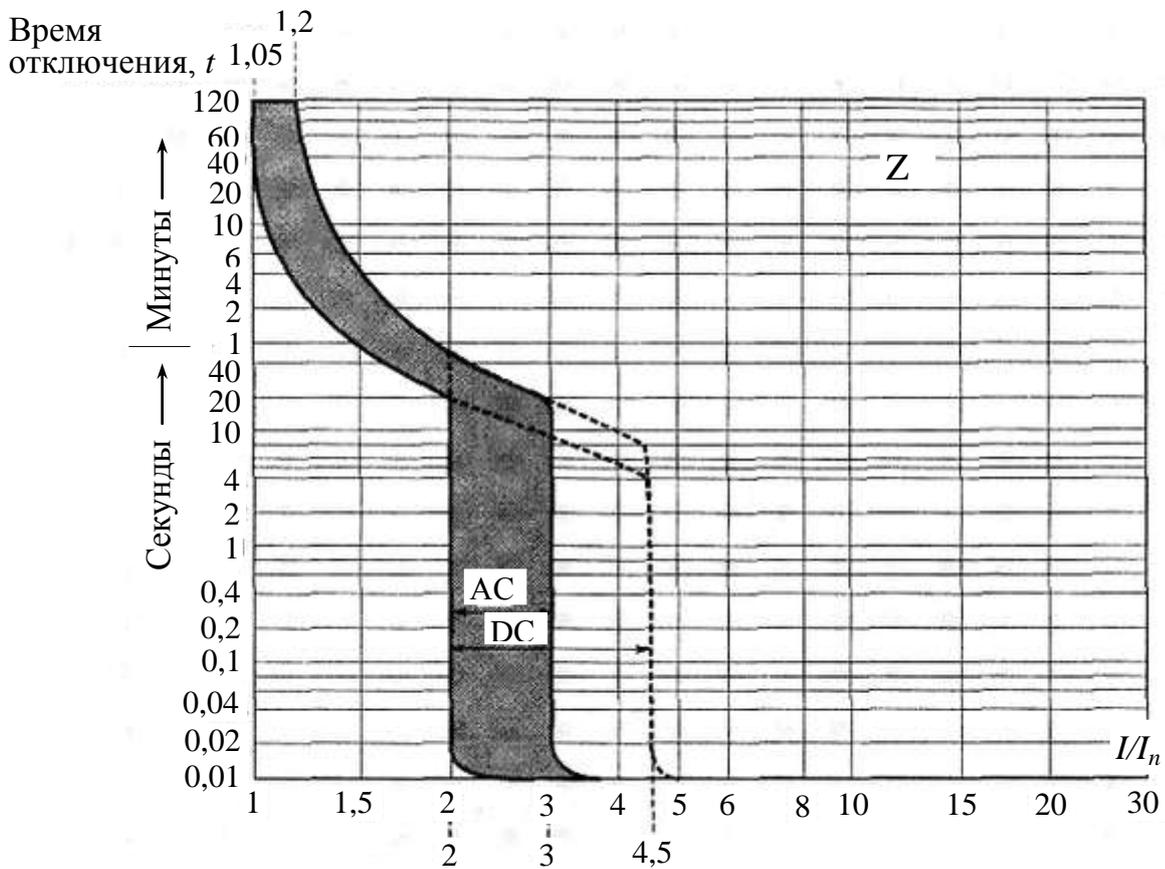


Рис. 3.7. Времятоковая характеристика автоматического выключателя типа Z

*Дугогасящая система* должна обеспечивать отключение больших токов короткого замыкания в ограниченном объеме. Под воздействием возникающих электродинамических сил дуга быстро растягивается и гаснет, но ее пламя занимает очень большое пространство. Задача дугогасящего устройства заключается в том, чтобы ограничить размеры дуги и обеспечить ее гашение в малом объеме. В связи с этим широкое распространение получили камеры с дугогасящими решетками и камеры с узкими щелями. В современных конструкциях все большее применение находят пламегасящие решетки, что приводит к образованию таких комбинированных устройств, как камера с дугогасящей решеткой плюс пламегасящая решетка, камера с дугогасящей решеткой в узкой щели плюс пламегасящая решетка и т. п.

*Привод* служит для включения АВ по чей-либо команде (оператора, системы автоматического управления и др.). Автоматические выключатели бывают с ручным или двигательным приводом либо и с тем, и с другим. Под двигательным понимают привод, в котором используется сила, создаваемая любым источником энергии (электромагнитом, электродвигателем, пневматической, гидравлической системами и т. д.), кроме мускульной силы оператора. Отключение выключателя осуществляется пружинами после разъединения расцепляющего устройства.

*Расцепляющее устройство* предназначено для исключения возможности удерживать контакты АВ во включенном положении рукояткой (дистанционным приводом) при наличии ненормального режима работы в защищаемой цепи; обеспечения моментного отключения, т. е. скорости расхождения контактов, не зависящей от оператора, рода и массы привода.

Расцепляющее устройство представляет собой систему шарнирно связанных рычагов, соединяющих привод включения с системой подвижных контактов, которые соединены с отключающей пружиной.

Выключатель в зависимости от типа и конструкции имеет дополнительные сборочные единицы, которые встраиваются в выключатель или крепятся на нём снаружи. Ими могут быть независимый расцепитель, нулевой или минимальный расцепители напряжения, свободные или вспомогательные контакты, ручной, электромагнитный или электродвигательный привод, сигнализация автоматического отключения (контакты состояния), устройство для запираания выключателя в положении «Отключено».

Автоматические выключатели производятся многими европейскими, российскими, японскими и китайскими компаниями. Среди основных марок европейских производителей можно выделить АВВ, Siemens, SchneiderElectric, Legrand, Moeller и Hager [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Среди российских производителей можно отметить ОАО «Дивногорский завод низковольтной аппаратуры», ОАО «ЧЭАЗ» – г. Чебоксары, ОАО «Электроаппарат» – г. Курск, ОАО «Контактор» – г. Ульяновск, ИЕК, ЕКФ [11, 12, 13, 14, 15].

Автоматические выключатели от компаний «SchneiderElectric», «АВВ» и «Legrand» являются самыми качественными устройствами такого типа. В их пользу также говорит широкий диапазон номинальных токов, а также высокая механическая и электрическая коммутационная способность.

Автоматические выключатели от компаний российских производителей, как правило, уступают в технических характеристиках их зарубежным аналогам. Такие устройства характеризуются низкой степенью электрической и механической износостойкости, что делает их не столь долговечными.

Автоматические выключатели SchneiderElectricMulti 9 (Acti 9) для сетей низкого напряжения на токи 0,25–125 А предназначены:

- для коммутации и защиты цепей от перегрузок и коротких замыканий в административных, промышленных и жилых зданиях;
- защиты кабелей и пусковых устройств двигателей от коротких замыканий;
- защиты двигателей от коротких замыканий;
- управления и защиты цепей с глухо заземленной нейтралью (ТТ) или с заземленной нейтралью у источника питания (ТNS) от перегрузок и коротких замыканий в жилых, общественных и сельскохозяйственных сооружениях;
- защиты цепей постоянного тока от короткого замыкания и перегрузки, а также для управления и секционирования.

Рекомендации по выбору автоматических выключателей Multi 9 приведены в таблице 3.1.

### Рекомендации по выбору автоматических выключателей серии Multi 9

Назначение	Номинальный ток, А	Напряжение, В	Тип	Кривые	Ток отключения, кА
Коммутация и защита цепей от перегрузок и кз в административных, промышленных и жилых зданиях	2 ... 40	230 ... 400	C60A	B/C	4,5
	0,5 ... 63	230 ... 400	C60N	B/C/D	4,5 ... 6
	0,5 ... 63	230 ... 400	C60H	B/C/D	4,5 ... 10
	0,5 ... 63	240 ... 415	C60L	B/C/Z/K	4,5 ... 15
	10 ... 125	230 ... 400	C120H	B/C/D	4,5 ... 15
	63 ... 125	230 ... 400	C120N	B/C/D	4,5 ... 10
Защита кабелей и пусковых устройств двигателей от кз	1,6 ... 40	230 ... 440	C60LMA	MA	4,5 ... 25
Защита двигателей от кз	4 ... 80	500	NG125L MA	MA	4,5 ... 50
Коммутация и защита цепей от перегрузок и кз в зданиях с повышенной отключающей способностью	10 ... 125	500	NG125N	B/C/D	4,5 ... 25
	10 ... 80	500	NG125H	B/C/D	4,5 ... 36
	10 ... 80	500	NG125L	B/C/D	4,5 ... 50
Управление и защита цепей с заземленной нейтралью у источника питания (TNS) от перегрузок и кз в жилых, общественных и с/х сооружениях	1 ... 40	230	DPN N	B/C	6

В зависимости от назначения и условий применения АВ Multi 9 комплектуются различного типа вспомогательными электрическими устройствами. Вспомогательные электрические устройства позволяют осуществлять дистанционное отключение и сигнализацию состояния АВ C60, C120 и DPN N. Они монтируются с левой стороны от АВ (рис. 3.8).

От компаний российских производителей наибольшее распространение получили следующие типы АВ, применяемые в сельскохозяйственных установках: А63, АЕ1000, АЕ2000, А3100, А3700 и ВА [2, 3, 16].



Рис. 3.8. Вспомогательные электрические устройства для C60, C120 и DPN N

Необходимо отметить, что АВ серии ВА (торговая марка IEK – производитель Интер электро комплект [15]) на номинальные токи от 25 до 400 А предназначены для замены автоматических выключателей АЕ2000, А3100, А3700 и «Электрон», а их габариты и вес на 10–20 % меньше аналогичных выключателей других отечественных производителей.

Автоматические выключатели ВА88 предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузке, недопустимых снижениях напряжения, а также для оперативных включений и отключений участков электрических цепей и рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным рабочим напряжением до 400 В частотой 50 Гц. Серийный ряд состоит из 6 габаритов (типоразмеров) на номинальные токи от 12,5 до 1600 А и отключающей способностью от 12,5 до 50 кА.

Стандартная комплектация каждого автоматического выключателя состоит из переходных шин или кабельных наконечников, межфазных перегородок, комплекта винтов и гаек для подсоединения проводников, комплекта винтов для крепления автоматического выключателя к монтажной панели.

Структура обозначения выключателя:

ВА-88 –XX1 –XX2 –XX3 –XX4 –X5 –X6 –X7:

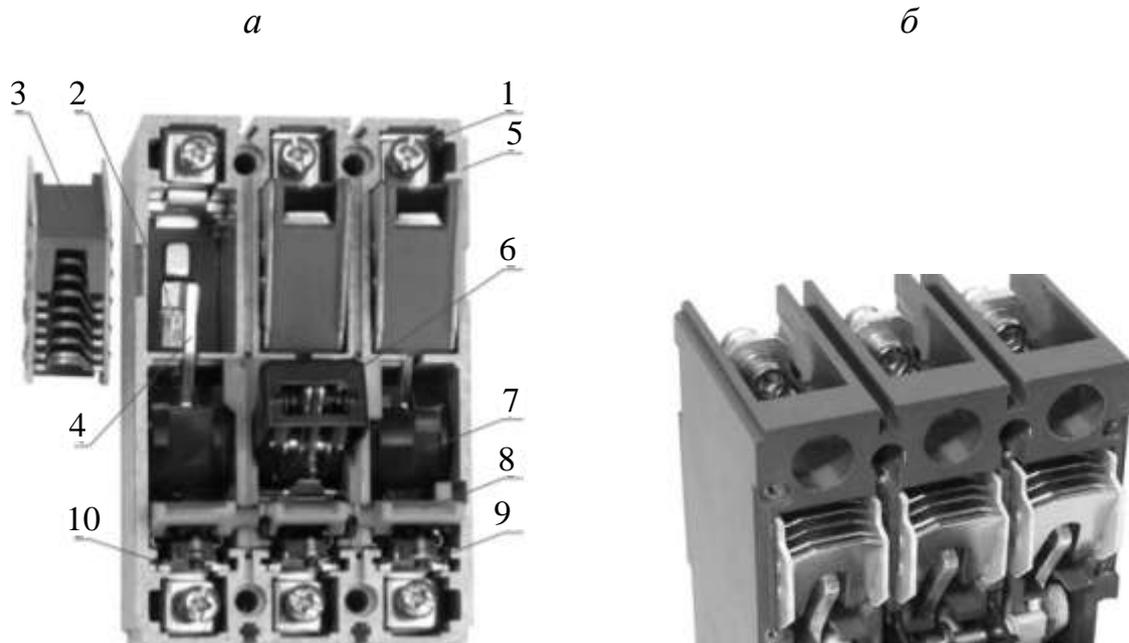
– XX1: обозначение серии;

– XX2: условное обозначение максимального номинального тока: 32 – 125 А; 33 – 160 А; 35 – 250 А; 37 – 400 А; 40 – 800 А; 43 – 1600 А;

- ХХ3: число полюсов: 3, 3+N, 4;
- ХХ4: способ установки и монтажа проводников: СП – стационарный передним присоединением; СЗ – стационарный с задним присоединением; ВП – втычной с передним присоединением; ВЗ – втычной с задним присоединением; КП – выдвижной с передним присоединением; КЗ – выдвижной с задним присоединением;
- Х5: привод управления: Р – ручной; П – ручной поворотный; Д – электропривод;
- Х6: дополнительные расцепители: О – отсутствуют; Н – независимый расцепитель; М – минимальный расцепитель;
- Х7: вспомогательные контакты: О – отсутствуют; С – аварийные; В – дополнительные; К – аварийные и дополнительные.

Автоматический выключатель ВА88 выполнен в виде моноблока (рис. 3.9, а) и состоит из основания и крышки с фальшпанелью, в которой имеется окно для рукоятки управления и толкатель кнопки «Тест» проверки механизма отключения выключателя. Основание является несущей конструкцией для присоединительных (винтовых) зажимов (рис. 3.9, а, 1), неподвижных силовых контактов (рис. 3.9, а, 2) с системой дугогашения (рис. 3.9, а, 3), механизма управления с системой подвижных контактов (рис. 3.9, а, 4), блока защиты от сверхтоков. Основание выполнено из терморезистивного пластика (рис. 3.9, а, 5), способного выдерживать высокие температуры и сильные электродинамические воздействия, возникающие в выключателе при протекании и отключении сверхтоков. Крышка закрывает все подвижные элементы механизма управления и внутренние токоведущие части.

Механизм управления (взвода) выключателя (рис. 3.9, а, 6) построен на принципе переламывающегося рычага и снабжен мощной возвратной пружиной. При взведении рукоятки механизма управления приводится в движение изолирующая рейка (рис. 3.9, а, 7), на которой закреплены подпружиненные подвижные силовые контакты с гибкими соединениями. Рейка поворачивается в боковых направляющих, обеспечивая не только замыкание подвижных и неподвижных силовых контактов, но и необходимые провалы для увеличения и выравнивания давления на подвижные контакты.



*Рис. 3.9. Внутреннее устройство (а) выключателя ВА88 и дугогасительной камеры (б) в исполнении ВА88 -35:*

*1 – винтовые зажимы; 2 – неподвижные силовые контакты; 3 – блок системы дугогашения; 4 – подвижные силовые контакты; 5 – корпус из термостойкой АБС-пластмассы; 6 – механизм взвода; 7 – изолирующая рейка; 8 – плоская рейка; 9 – регулировочные винты теплового расцепителя; 10 – узел теплового и электромагнитного расцепителя*

Действие возвратной пружины блокируется элементами переламывающегося рычага, находящимися в этот момент на одной прямой линии и опирающимися одним коленом на выступ поворотного элемента «сброса» механизма управления. Сброс механизма управления осуществляется посредством плоской рейки (рис. 3.9, а, 8), на которую воздействуют через регулировочные винты (рис. 3.9, а, 9) толкатели биметаллических пластин тепловых расцепителей и электромагнитов защиты (рис. 3.9, а, 10) от коротких замыканий.

Система дугогашения АВ в исполнениях ВА88-32, 33 состоит из дугогасительных решеток со стальными никелированными вкладышами; в исполнении ВА88-35 и выше применены дополнительные распылители дуги в виде толстых перфорированных стальных пластин (рис. 3.9, б), вставленных в крышку. Все АВ ограничивают ток короткого замыкания. Увеличенная скорость разрыва контактов, динамическое действие магнитного поля и структура дугогасящей камеры способствуют гашению дуги в кратчайшее возможное время, ограничивая величину интеграла Джоуля и пик тока.

Подвижные контакты находятся в состоянии покоя только в замкнутом или разомкнутом положении, даже когда органы управления находятся в промежуточном положении. Действие механизма не зависит от давления на рукоятку и скорости включения. Рукоятка АВ имеет три положения (включено, отключено и промежуточное после срабатывания от расцепителей). Для включения после срабатывания необходимо рукоятку перевести из промежуточного положения в положение «Откл», а затем – «Вкл».

Проверка и профилактические работы могут быть проведены в выключенном состоянии без отсоединения подводящих проводников. Доступ к дугогасящим камерам, подвижным и неподвижным контактам обеспечивается после снятия крышки АВ, что ускоряет и облегчает обслуживание.

Автоматические выключатели серии ВА88 оснащены, в зависимости от модели, тепловым и электромагнитным или электронным расцепителями. Тепловой и электромагнитный расцепитель предназначен для защиты от перегрузок и токов короткого замыкания соответственно. Защита от перегрузки обеспечивается с помощью биметаллического теплового элемента с возможностью регулировки для ВА88-35, 37, 40. Защита от короткого замыкания обеспечивается с помощью электромагнитного элемента. Уставка электромагнитного расцепителя имеет фиксированный порог срабатывания. Времятоковые характеристики теплового и электромагнитного расцепителей приведены на рисунке 3.10. Температура настройки расцепителей 40 °С.

Автоматический выключатель серии ВА13 [16] (рис. 3.10) предназначен для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при перегрузках и коротких замыканиях или только при коротких замыканиях, а также для оперативных включений и отключений электрических цепей.

Основное назначение АВ серии ВА13 – защита кабелей и проводов, а также электродвигателей. К особенностям АВ данного типа относятся:

– наличие электромагнитного расцепителя с гидравлическим замедлением срабатывания в зоне токов перегрузки, который сочетает функции двух классических расцепителей максимального тока: для защиты от перегрузки – функции тепловых; для защиты от коротких замыканий – функции электромагнитных;

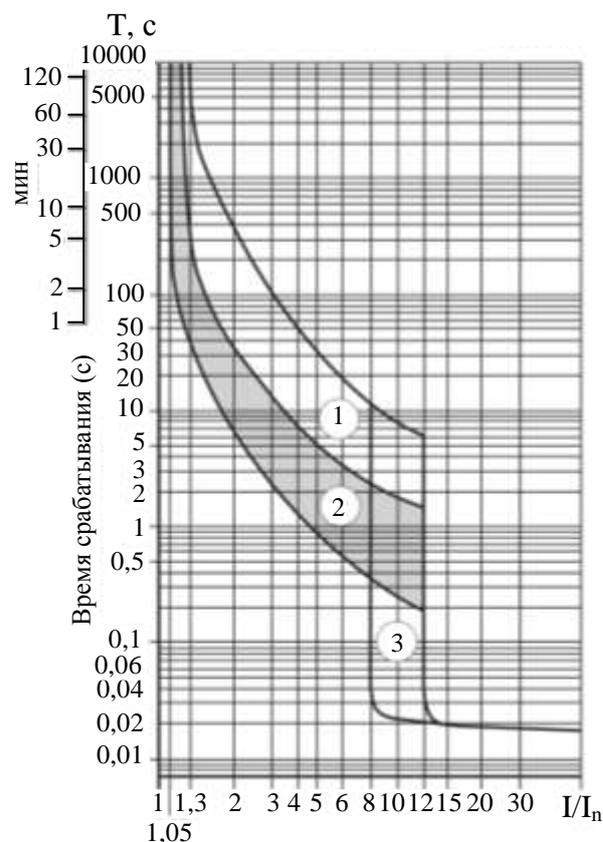
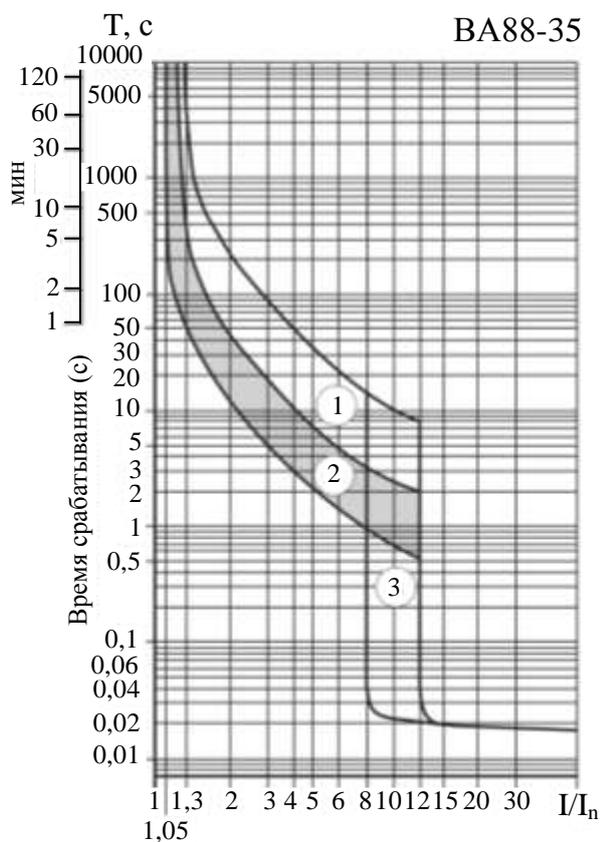
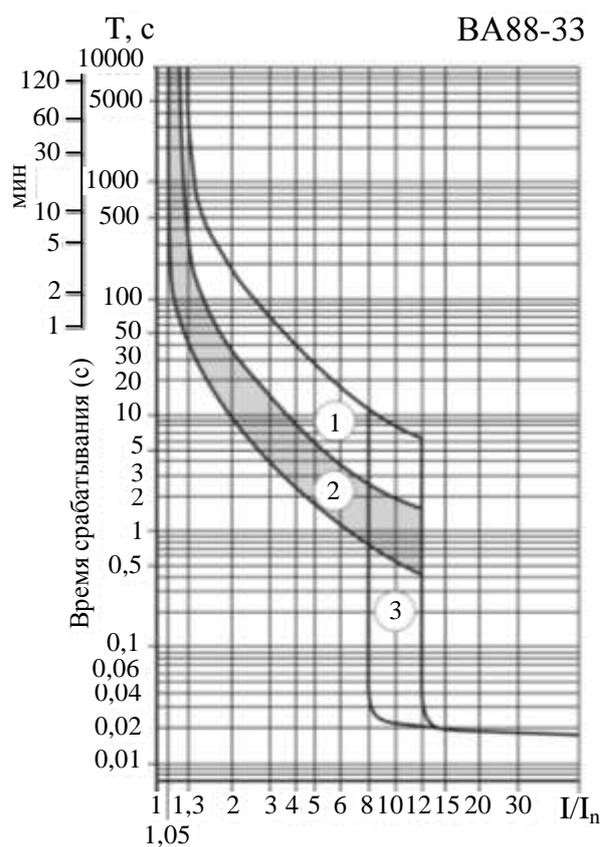
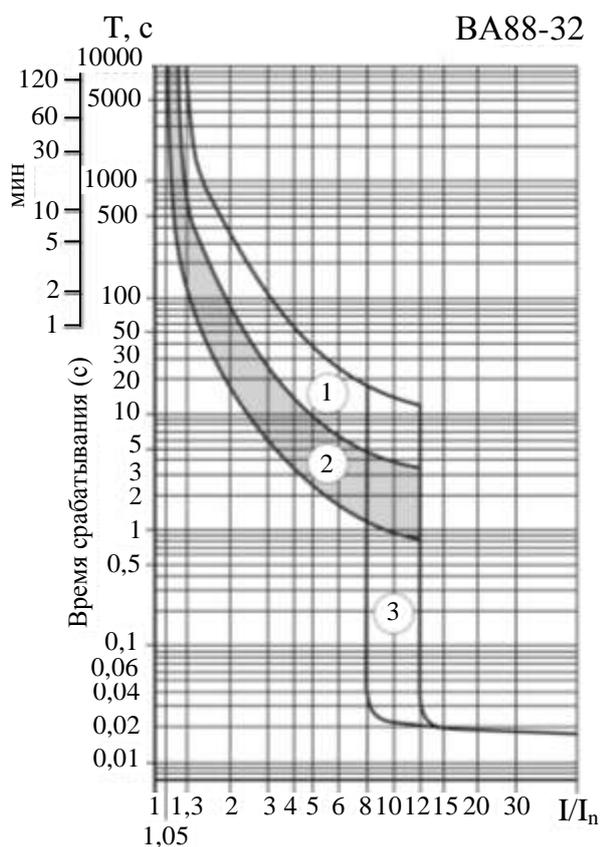


Рис. 3.10. Времятоковые характеристики срабатывания ВА88 с тепловым и электромагнитным расцепителем: 1, 2 – времятоковая характеристика теплового расцепителя с холодного и нагретого состояния, соответственно; 3 – зона срабатывания электромагнитного расцепителя сверхтока

– высокая вибро- и ударостойкость по сравнению с АВ с тепловыми расцепителями, высокая сейсмостойкость (9 баллов по MSK-64);  
– малая зависимость время – токовых характеристик от температуры среды. Начальный ток расцепления неизменен в диапазоне температур от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ ;

– более высокая термостойкость при токах короткого замыкания, чем у АВ с тепловыми расцепителями. Благодаря этому предельная отключающая способность данных АВ одинакова для всех номинальных токов расцепителей;

– контактная система «мостикового» типа обеспечивает двойной разрыв электрической цепи в каждом полюсе.

При правильно выполненной системе заземления [1], АВ предотвращают поражение человека электрическим током при косвенных прикосновениях. АВ выпускаются в двух- и трехполюсном исполнении и могут работать в цепях постоянного или переменного тока. Соответствуют требованиям ГОСТ В 9098-78. Износостойкость АВ при его отключении независимым расцепителем составляет 6 300 циклов, а при отключении максимальными расцепителями – 200 циклов.

Структура условного обозначения:

ВА13 – XX1–X1 X2 XX2 XX3

XX1– обозначение номинального тока аппарата:

25–25 А; 29–63 А;

X1 – число полюсов: 2, 3.

X2– вид максимального расцепителя:

2 – защита в зоне токов короткого замыкания;

3 – защита в зоне токов короткого замыкания и в зоне токов перегрузки.

XX2 – обозначение независимого расцепителя и свободных контактов:

00 – без независимого расцепителя и свободных контактов;

11– свободные контакты;

12 – независимый расцепитель;

18 – независимый расцепитель и свободный контакт 1Р.

XX3 – климатическое исполнение и категория размещения:

У3, Т3 – ВА13-29; О5 – ВА13-25.

Автоматические выключатели типов ВА16-21, ВА16-23, ВА16-25, ВА16-27 предназначены для защиты электрических цепей переменного тока до 40 А включительно с номинальным напряжением 230 В частотой 50 и 60 Гц при перегрузках и коротких замыканиях и для

нечастых (до 6 в час) оперативных включений и отключений указанных цепей вручную [16]. Номинальный ток расцепителей: 21–10 А; 23–16 А; 25–25 А; 27–40 А.

АВ изготавливаются с комбинированными (электромагнитными и тепловыми расцепителями); по способу присоединения проводников – механическими креплениями; по способу монтажа – панельно-щитового типа (для установки на рейках); по защите от внешних воздействий – закрытого исполнения, встраиваемые.

АВ оснащены выводами, допускающими присоединение алюминиевых и медных проводов и шин с сечением от 1,5 до 6 мм<sup>2</sup>.

Разработаны взамен выключателя АЕ 1031 и имеет согласованные с ним установочные размеры.

Структура условного обозначения и значения параметров для выключателя ВА 16-26-140010-20УХЛ4 приведены в таблице 3.2.

*Таблица 3.2*

### **Структура условного обозначения и значения параметров для выключателя ВА 16-26**

Условное обозначение	Значение параметра	Параметр
ВА 16-26	ВА 16-26	Серия
ВА 16-26-1	1п	Число полюсов
ВА 16-26-12	Рэ	Исполнение максимальной токовой защиты
ВА 16-26-14	РэРт	
ВА 16-26-1400	Нет	Наличие свободных контактов
ВА 16-26-14001	Стационарный, ручной привод	Исполнение привода и установки
ВА 16-26-140010	Нет	Наличие дополнительных механизмов
ВА 16-26-140010-20	IP20	Степень защиты
ВА 16-26-140010-20УХЛ4	УХЛ4	Климатическое исполнение, категория размещения

Автоматические выключатели серии ВА 47-29 и ВА 47-100 – электрические коммутационные аппараты, предназначенные для защиты электрических цепей от перегрузок и токов короткого замыкания (сверхтоков), а также для осуществления оперативного управления участками электрических цепей [16]. Выключатели, снабженные двумя системами защиты от сверхтока: электротепловой и электромагнитной, с взаимосогласованными характеристиками В, С, D

(ВА 47-100 только С, D). Предусмотрено одно-, двух-, трех- и четырехполюсное исполнение, монтаж АВ производят на 35 мм монтажную DIN-рейку.

ВА 47-29 (рис. 3.11) предназначен для защиты распределительных и групповых цепей, имеющих различную нагрузку: электроприборы; освещение; АВ с характеристикой В; двигатели с небольшими пусковыми токами (компрессор, вентилятор); АВ с характеристикой С; двигатели с большими пусковыми токами (подъемные механизмы, насосы); АВ с характеристикой D. ВА47-29 рекомендуются к применению в вводно-распределительных устройствах для жилых и общественных зданий (ВА47-29М на производстве). Номенклатура выключателей включает в себя 200 типоразмеров на 18 номинальных токов от 0,5 до 63 А.

АВ серии ВА 47-100 (рис. 3.12) предназначены для защиты распределительных и групповых цепей, имеющих активную и индуктивную нагрузки. Рекомендуются к применению во вводно-распределительных устройствах бытовых и промышленных электроустановок. Номенклатура АВ включает в себя 80 типоразмеров на 10 номинальных токов. АВ серии ВА47-100 отличаются более высокой предельной отключающей коммутационной способностью – 10 кА.



*Рис. 3.11. Автоматический выключатель серии ВА47-29*



*Рис. 3.12. Автоматический выключатель серии ВА47-100*

## Особенности конструкции АВ серии ВА 47-100 [16]



Конструкция выключателя предусматривает два типа защиты от перегрузки и короткого замыкания, что существенно повышает защищённость распределительных и групповых цепей.



Наплавка из серебросодержащего композита повышает износостойкость контактной группы и снижает переходное сопротивление.



Защита механизма теплового расцепителя плексигласовой вставкой от изменения заводских настроек.



Индикатор состояния главной цепи предоставляет точную информацию о состоянии контактов независимо от положения рукоятки.



Унифицированный корпус с возможностью подключения дополнительных устройств не требует разбора, возможность – самостоятельное подключение.



Усовершенствованная более широкая рукоятка выключателя с увеличенной площадью контакта облегчает процесс коммутации.



Защёлка с двойным фиксированным положением ускоряет процесс монтажа и демонтажа выключателя.



Подключение шины к автоматическому выключателю позволяет снизить переходное сопротивление и обеспечивает 2- или 3-проводное присоединение линии для равномерного распределения нагрузки шины.



Насечки на контактных зажимах снижают тепловые потери и увеличивают механическую устойчивость соединения.

Преимущества АВ серии ВА 47-29 и ВА 47-100:

- два типа защиты от перегрузки и короткого замыкания;
- полный комплект дополнительных устройств с возможностью простой самостоятельной установки:
  - контакт состояния КС47;
  - контакт состояния КСВ47;
  - расцепитель минимального напряжения РМ47;
  - расцепитель независимый РН47;
  - независимый индикатор положения контактов;
  - защёлка на DIN-рейку с двойным фиксированным положением;
  - усовершенствованная более широкая рукоятка АВ с увеличенной площадью контакта;
  - насечки на контактных зажимах снижают тепловые потери и увеличивают механическую устойчивость соединения;
  - увеличенная коммутационная способность до 10 кА позволяет устанавливать ВА 47-100 в качестве вводных АВ;
  - широкий диапазон рабочих температур от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Автоматические выключатели серии ВА51, ВА52 (рис. 3.13) на номинальные токи от 16 до 630 А предназначены для проведения тока в нормальном режиме и отключения тока при коротких замыканиях, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения, а также для нечастых (до 6 в сутки) оперативных включений и отключений электрических цепей [16].



Рис. 3.13. Автоматический выключатель серии ВА51

Автоматические выключатели рассчитаны для эксплуатации в электроустановках с номинальным напряжением до 660 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц и до 440 В постоянного тока.

Допускается использовать АВ для нечастых прямых пусков и защиты асинхронных электродвигателей в режиме АС-3. АВ соответствуют категории применения А. Автоматические выключатели классифицируются по номинальному току АВ, числу полюсов и количеству максимальных расцепителей тока, исполнениям максимальных расцепителей тока в зоне защиты, степени защиты, климатическому исполнению и категории размещения.

Структура условного обозначения ВА5[\*] – [\*]М – [\*][\*][\*][\*][\*][\*] – [\*][\*][\*][\*]:

ВА – выключатель автоматический;

[\*] – исполнение выключателя по коммутационной способности: 1 – серия АВ со средней коммутационной способностью; 2(7) – серия АВ с повышенной коммутационной способностью;

[\*] – условное обозначение номинального тока АВ: 35–250 А; 37–400 А; 39–630 А;

М – модификация;

[\*] – обозначение исполнения по числу полюсов и количеству максимальных расцепителей тока:

1 – однополюсный с максимальным расцепителем тока; 3 – трехполюсный с максимальным расцепителем тока в каждом полюсе; 8 – двухполюсный с максимальным расцепителем тока в каждом из двух полюсов;

[\*] – исполнение максимальных расцепителей тока в зоне защиты: 3 – расцепитель в зоне токов КЗ; 4 – расцепитель в зоне токов КЗ и перегрузки;

[\*][\*] – обозначение исполнения по дополнительным сборочным единицам:

00 (45) – без дополнительных узлов; 11 (46) – свободные контакты (вк); 12 (62) – расцепитель независимый (РН); 13 (52) – расцепитель минимального напряжения (РМН); 15 (49) – расцепитель нулевого напряжения (РНН); 18 (47) – свободные контакты и расцепитель независимый (вк РН); 23 (56) – свободные контакты и расцепитель минимального напряжения (вк РМН); 25 (54) – свободные контакты и расцепитель нулевого напряжения (вк РНН). Цифры в скобках – обо-

значение соответствующего исполнения дополнительных сборочных единиц, имеющее дополнительно вспомогательный контакт сигнализации автоматического отключения (вкс).

[\*] – обозначение вида привода и способа установки АВ:

1 – ручной привод, стационарный; 3 – электромагнитный привод, стационарный; 5 – ручной дистанционный привод, выдвижное исполнение; 7 – электромагнитный привод, выдвижное исполнение.

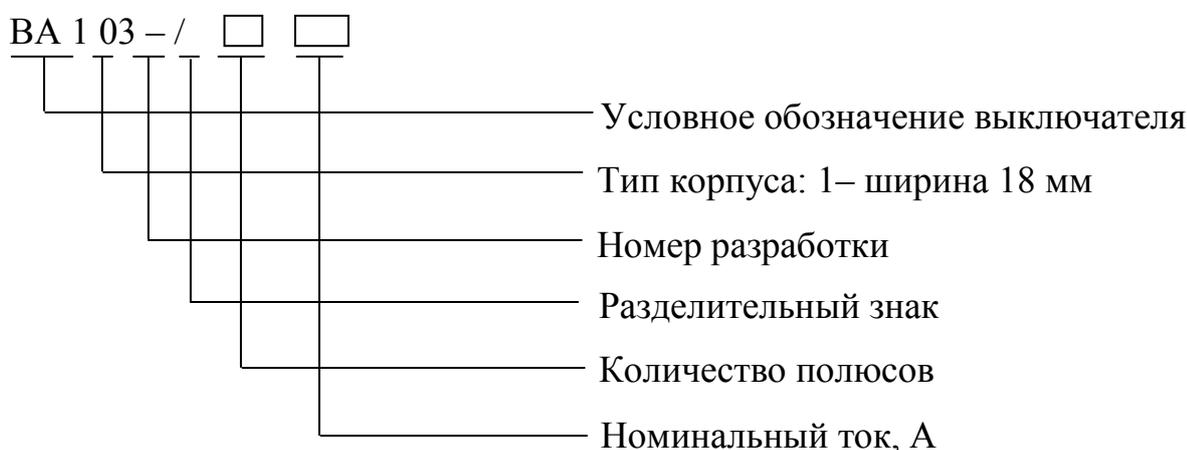
[\*] – обозначение по дополнительному механизму: 0 – отсутствует; 5 – ручной дистанционный привод; 6 – устройство для блокировки «отключено».

[\*][\*] – степень защиты по ГОСТ 14255-69: 20 – IP20; 00 – IP00;

[\*][\*] – климатическое исполнение и категория размещения (УХЛ3.1, УХЛ3, Т3) по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543.1-89.

Высококачественные автоматические выключатели серии ВА101, ВА102, ВА103, ВА201 предназначены для защиты низковольтных электрических сетей от длительных перегрузок и токов короткого замыкания [16]. Могут использоваться для оперативного включения, отключения.

#### Структура условного обозначения АВ серии ВА103



Корпуса автоматических выключателей сделаны из прочной, не поддерживающей горение пластмассы, снабжены замками для установки на DIN-рейку. Выпускаются в одно-, двух-, трех- и четырехполюсном исполнении. Оснащены медными токовыми расцепителями с посеребренными контактами и снабжены многопластинчатыми дугогасительными камерами, что обуславливает высокие характеристики коммутационной износостойкости и предельной коммутационной

способности. Комбинированные зажимы из посеребренной меди и анодированной стали обеспечивают надежный контакт с медными и алюминиевыми проводниками.

АВ имеют два типа защиты:

- тепловую, выполненную на биметаллической пластине, предназначенную для защиты от длительных токовых перегрузок;
- динамическую, выполненную на электромагнитной катушке, предназначенную для защиты от токов короткого замыкания.

Автоматические выключатели серий ВА101 и ВА102 отличаются лишь возможностью соединения ВА102 с помощью контактной шины.

Автоматические выключатели серии ВА 103 имеют усовершенствованную конструкцию по сравнению с АВ серий ВА101 и ВА102.

В частности, АВ серии ВА103 снабжен двенадцатипластинчатой четырехсторонней дугогасительной камерой (в отличие от десятипластинчатой у других типов), благодаря чему обладает более высокими характеристиками коммутационной износостойкости и предельной коммуникционной способности. Усовершенствованная конструкция контактов обеспечивает более эффективное сцепление / расцепление. В конечном счете, это обеспечивает большую надежность, долговечность эксплуатации и повышает безопасность АВ серии ВА103 по сравнению с ВА101 и ВА102.

В свою очередь, АВ серии ВА201 имеют усовершенствованную конструкцию механизма управления и механизма свободного расцепления для снижения эффекта дребезжащего контакта, вследствие чего, во время включения, замыкание контактов происходит мгновенно независимо от скорости движения рукоятки управления. Технические характеристики АВ серий ВА101, ВА102, ВА103 и ВА201 приведены в таблице 3.3.

Кривая В – АВ срабатывает при появлении в цепи тока в 3–5 раз больше номинального (т. е. АВ на 16 А отключит цепь при токе 48–80 А). Применяются для защиты цепей большой протяженности.

Кривая С – ток в цепи в 5–10 раз больше номинального (т. е. АВ на 16 А отключит цепь при токе 80–160 А). Применяются для стандартной защиты цепей розеток и освещения.

### Технические характеристики АВ серий ВА101, ВА102, ВА103

Модель	ВА101	ВА102	ВА201	ВА103
Род тока	Переменный, частота 50 (60) Гц			
Номинальное напряжение, В	1-полюсные – 230; 2-, 3-, 4-полюсные – 400			
Номинальный ток выключателя (расцепителя), А	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63	
Тип защитной характеристики	В*, С*, D*		С, D	В, С, D
Число полюсов	1, 2, 3, 4			
Коммутационная износостойкость, не менее	4000 циклов			10000 циклов
Предельная коммутационная способность, А	3000		6000	
Степень защиты	IP20			
Номинальные поперечные сечения подключаемых проводников, мм <sup>2</sup>	1–25	1–16	2,5–50	1–25

Примечание: \*Кривая отключения – отражает порог срабатывания при защите от короткого замыкания.

Кривая D – ток в цепи в 10–14 раз больше номинального (т. е. АВ на 16 А отключит цепь при токе 160–224 А). Применяются для защиты двигателей, трансформаторов и пр.

По умолчанию, АВ серий ВА101 и ВА102 имеют характеристику С, АВ серии ВА201 – характеристику D. В зависимости от установки электромагнитного расцепителя АВ серии ВА103 могут иметь защитную характеристику типа В, С или D.

#### Маркировка АВ серий ВА101, ВА102, ВА103 и ВА201



Номинальный ток – величина тока в амперах (А), которую АВ способен пропускать бесконечно долго без отключения цепи. Должна соответствовать сечению провода и планируемой нагрузке на цепь.



Кривая отключения отражает порог срабатывания при защите от короткого замыкания. Кривая С – ток в цепи в 5–10 раз больше номинального.

Количество полюсов – по сути, несколько АВ – от 1 до 4, объединенных в единый корпус. При срабатывании одного полюса размыкаются все подключенные к аппарату цепи сразу. 1Р автоматический выключатель используется в однофазных сетях.

Номинальное напряжение – напряжение переменного тока (знак ~), при котором аппарат работает в нормальных условиях.

Номинальная отключающая способность – максимальный ток короткого замыкания, который данный АВ способен отключить и остаться в работоспособном состоянии.

Для АВ серии ВА101 разработаны дополнительные устройства, в число которых входят: независимые расцепители, дополнительные и сигнальные контакты. Данные изделия предназначены для дистанционного отключения 1–4-полюсного АВ серии ВА-101, что позволяет использовать данные АВ в системах автоматизации. Контакт дополнительный ДК-101 и контакт сигнальный служат для получения информации о состоянии ВА-101.

Расцепитель независимый с дополнительным контактом серии НД-101 выполнен в габарите однополюсного АВ серии ВА-101. Конструктивно представляет собой электромагнит, который через рычаг воздействует на механизм сброса независимого расцепления АВ. Независимый расцепитель оснащен встроенным контактом. При срабатывании расцепителя от импульса напряжения произойдет автоматическое отключение расцепителя от питания. Это значит, что на зажимах может присутствовать постоянно напряжение без риска повреждения независимого расцепителя. Контакт сигнальный серии СК-101 выполняет функцию сигнализации состояния ВА-101. Переключение контактов произойдет только при срабатывании АВ от сверхтоков (перегрузки или короткого замыкания).

Контакт дополнительный серии ДК-101 выполняет функцию контакта состояния АВ: включен/выключен. Переключение контактов ДК-101 происходит, даже если рукоятка управления АВ удерживается во взведенном положении. Контакт состояния серии СК-101 и

контакт дополнительный серии ДК-101 содержат по одной группе переключающихся контактов.

АВ серии ВА102 имеют возможность соединения между собой и с УЗО-01 с помощью U-образной контактной шины.

Технические характеристики НД-101:

Номинальное напряжение – 220 В;

Напряжение срабатывания – 70–110 % от номинального;

Номинальный ток дополнительного контакта – 3 А;

Механическая износостойкость –  $5 \cdot 10^5$  циклов;

Диапазон сечений присоединяемых проводов – 25 мм<sup>2</sup>;

Присоединение к автоматическому выключателю – справа;

Ширина модуля – 18 мм.

АВ серии ВА75 выпускаются промышленностью с целью замены в дальнейшем устаревших серий АВМ и «Электрон» с токами до 1600 А [16]. При заказе для дистанционного включения некоторые типы АВ серии ВА75 поставляются с электродвигательным приводом. Электроприводы включения поставляются на напряжение постоянного тока 220 В или переменного тока 220–240 В и надежно действуют при отклонениях напряжения от 0,85 до 1,1  $U_{ном}$ .

### **Выбор автоматических выключателей [17]**

Выбор автоматических выключателей должен вестись исходя из параметров проводов и кабелей, по условиям защиты от перегрузок, по режиму короткого замыкания, по селективности, по типу времятоковой характеристики.

Выбору автоматических выключателей должен предшествовать расчет электрических нагрузок и выбор сечений проводников.

Поскольку автоматические выключатели защищают линии электрических сетей (провода и кабели) от перегрузок и токов коротких замыканий – расчет и выбор автоматических выключателей в первую очередь должен вестись исходя из параметров проводов и кабелей (тип изоляции, материал и сечение токопроводящей жилы, количество жил, способ прокладки), т. е. из предельно допустимой токовой нагрузки проводника.

Автоматические выключатели рассчитываются и выбираются:

- по условиям защиты от перегрузок;
- типу времятоковой характеристики;
- режиму короткого замыкания;
- селективности.

## Выбор автоматических выключателей по условиям защиты от перегрузок [17]

Как указывалось выше, автоматические выключатели имеют следующие виды защиты – электромагнитная, тепловая или комбинированная (электромагнитная и тепловая). В соответствии с СП31-110-2003 во внутренних сетях жилых зданий, как правило, следует применять автоматические выключатели с комбинированными расцепителями.

Для защиты от перегрузок предназначена тепловая защита. Параметром, определяющим ток срабатывания теплового расцепителя, является номинальный ток автоматического выключателя.

Рабочая характеристика автоматического выключателя должна отвечать условиям:

$$I_{р. \max} \leq I_{н.а.} \leq I_{д.н.},$$

где  $I_{д.н.}$  – предельно допустимый номинальный ток нагрузки проводника при расчетной температуре, А;

$I_{р. \max}$  – максимальный расчетный ток нагрузки, А.

$I_{н.а.}$  – номинальный ток автоматического выключателя, защищающего проводник, А.

**Пример 1.** Выбор вводного автоматического выключателя при защите от перегрузок.

Расчетные данные:

- максимальный расчетный ток на вводе  $I_{р. \max} = 27,5$  А;
- марка кабеля ВВГнг 3×10.

Согласно таблице 1.3.4 ПУЭ [1], кабель ВВГнг 3×10 выдерживает при расчетной температуре длительный номинальный ток, равный 50 А. Это значение тока совпадает со стандартным значением номинальных токов выключателей. Поэтому в соответствии с первым условием выбора автоматических выключателей выбираем номинальный ток автоматического выключателя, равным 50 А. Для вводного автоматического выключателя выбираем ВА47-29 D50.

**Пример 2.** Выбор автоматического выключателя для групповой розеточной сети.

Расчетные данные:

- максимальный расчетный ток розеточной сети  $I_{p. \max} = 6,4 \text{ А}$ ;
- марка кабеля ВВГнг  $3 \times 2,5$ .

Согласно таблице 1.3.4 ПУЭ [1], сечению кабеля  $3 \times 2,5$  соответствует допустимый длительный ток нагрузки  $I_{p. \max} = 21 \text{ А}$ . В соответствии с первым условием выбора автоматических выключателей выбираем (в меньшую сторону) ближайшее стандартное значение номинального тока выключателя  $I_{н. а.} = 20 \text{ А}$ .

Для розеточной сети выбираем ВА47-29 С20.

Время отключения теплового расцепителя зависит от значения тока перегрузки и времятоковой характеристики автоматического выключателя.

Для надежного срабатывания теплового расцепителя автоматического выключателя требуется ток, превышающий номинальный ток автоматического выключателя (согласно ГОСТ Р 50571.5-94 и его практически принимают равным току срабатывания при заданном времени срабатывания для автоматических выключателей).

Все то время, которое необходимо для срабатывания теплового расцепителя, провода и кабеля будут работать с перегрузкой, значит, нагреваться. Поэтому к выбору аппаратов защиты линий электрических сетей от перегрузок (в соответствии с сечением проводов и кабелей) нужно подходить с особой ответственностью.

### **Выбор автоматического выключателя по типу времятоковой характеристики [17]**

Выбор автоматических выключателей по типу защитных характеристик производится, как указывалось выше, исходя из характера нагрузки. В электрических сетях жилых зданий в основном используются автоматические выключатели с характеристиками типов В и С. В электроустановках, где нагрузка носит индуктивный характер и имеют место значительные пусковые токи, нужно использовать выключатели с расцеплением типа D.

## Выбор автоматического выключателя по режиму короткого замыкания [17]

При выборе автоматических выключателей по режиму короткого замыкания, защитный аппарат проверяется по номинальной отключающей способности и времени отключения полного тока короткого замыкания.

Номинальная отключающая способность – максимальный ток короткого замыкания, который данный автоматический выключатель способен отключить и остаться в работоспособном состоянии.

ГОСТ Р 50345 определяет следующие стандартные значения номинальной отключающей способности: 1500, 3000, 4500, 6000, 10000 А.

В соответствии с ГОСТ Р 50571.5-94 п. 434.3.2:

– время отключения полного тока КЗ в любой точке сети не должно превышать времени, в течение которого температура проводников достигает предельно допустимого значения.

Значения предельно допустимых температур нагрева проводников при КЗ приведены в ПУЭ[1], п. 1.4.16:

– для короткого замыкания продолжительностью до 5 с время  $t$ , в течение которого превышение температуры проводников от наибольшего значения допускаемой температуры в нормальном режиме до предельно допустимой температуры может быть приблизительно подсчитано по формуле:

$$\sqrt{t} = K \cdot S / I,$$

где  $t$  – продолжительность, с;

$S$  – сечение, мм<sup>2</sup>;

$I$  – действующее значение тока короткого замыкания, А;

$K = 115$ , для медных проводников с поливинилхлоридной изоляцией;

$K = 135$ , для медных проводников с резиновой изоляцией, с изоляцией из сшитого полиэтилена;

$K = 74$ , для алюминиевых проводников с поливинилхлоридной изоляцией;

$K = 87$ , для алюминиевых проводников с резиновой изоляцией, с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Согласно ПУЭ п.1.4.16 [1], температура нагрева проводников при КЗ должна быть не выше следующих предельно допустимых значений, °С:

- шины:
- медные – 300;
- алюминиевые – 200;
- стальные, не имеющие непосредственного соединения с аппаратами – 400;
- стальные с непосредственным присоединением к аппаратам – 300;
- кабели и изолированные провода с медными и алюминиевыми жилами и изоляцией:
- поливинилхлоридной и резиновой – 150;
- полиэтиленовой – 120;
- медные неизолированные провода при тяжениях, Н/мм<sup>2</sup>:
- менее 20 – 250;
- 20 и более – 200;
- алюминиевые неизолированные провода при тяжениях, Н/мм<sup>2</sup>:
- менее 10 – 200;
- 10 и более – 160.
- алюминиевая часть сталеалюминиевых проводов – 200.

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN (ПУЭ, табл. 1.7.1) [1], составляет:

Номинальное фазное напряжение $U_0$ , В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

**Пример 3.** Проверка выбранного автоматического выключателя на вводе на соответствие расчетным токам КЗ и допустимому времени защитного отключения.

Дано:

- вводной автоматический выключатель ВА47-29 D50 с отключающей способностью 4,5кА (справочные данные);
- расчетный ток КЗ на шине ВРУ – 2,5 кА (результаты расчетов);
- марка кабеля ВВГнг 3×10.

Отключающая способность выбранного автоматического выключателя 4,5 кА превышает расчетный ток КЗ 2,5 кА.

Время отключения вводного автоматического выключателя при токе КЗ = 2,5 кА определим по формуле:

$$\sqrt{t} = KS/I.$$

$$\text{Отсюда } t = (KS/I)^2 = (115 \cdot 10 / 2500)^2 = 0,21 \text{ с.}$$

В соответствие с таблицей 1.7.1 ПУЭ [1], расчетное время отключения не превышает допустимого значения (0,21 с < 0,4 с).

Таким образом, вводной автоматический выключатель по режиму КЗ выбран правильно.

**Пример 4.** Проверка автоматического выключателя для групповой розеточной сети на соответствие расчетным токам КЗ и допустимому времени защитного отключения.

Дано:

- групповой автоматический выключатель ВА47-29 С20 с отключающей способностью 4,5кА;
- расчетный ток КЗ в конце линии 1,0 кА;
- марка кабеля ВВГнг 3×2,5.

Отключающая способность выбранного автомата соответствует расчетному току КЗ.

Время отключения тока КЗ = 1,0 кА определим по формуле:

$$\sqrt{t} = KS/I; \quad t = (KS/I)^2 = (115 \cdot 2,5 / 1000)^2 = 0,1 \text{ с.}$$

Расчетное время отключения также не превышает допустимого значения.

### **Выбор автоматического выключателя по селективности [17]**

Селективностью называют свойство аппаратов защиты отключать только поврежденный участок. С учетом этого, селективность должна быть обеспечена между защитными аппаратами высокой стороны питающего трансформатора и вводным автоматом на низкой стороне, между вводным автоматом на низкой стороне и автоматами отходящих линий и т. д.

Решение проблемы селективности сводится к обеспечению отключения защищаемой цепи аппаратом защиты со стороны нагрузки до того, как начнет отключение аппарат защиты со стороны питания.

Между аппаратами на ГРЩ и нижестоящими аппаратами наиболее часто используется временная селективность. Этот вид селективности обеспечивается за счет смещения или сдвига времятоковых характеристик последовательно расположенных автоматических выключателей по оси времени.

Селективность по току обеспечивается путем задания различных уставок автоматических выключателей (максимальной токовой отсечки). Более высокие уставки имеют автоматические выключатели на стороне питания. Эти решения приемлемы для уровней А (ГРЩ) и уровня Б (вторичное распределение) системы электроснабжения, т. е. для больших автоматических выключателей, расцепители которых всегда можно подстроить. При конечном распределении электроэнергии (уровень В), где главным образом используются модульные токоограничивающие автоматы (бюджетные серии), селективность не обеспечивается или возможна только частичная селективность.

Например, в бытовом жилом секторе токи кз на вводе в дом и у самого удаленного потребителя будут отличаться незначительно (сети, как правило, короткие). При токах кз от 1000 до 3000 А, характерных для таких сетей, модульные автоматические выключатели в аварийной групповой сети и на вводе будут срабатывать одновременно. Чтобы этого не происходило, можно установить на вводе вместо вводного автомата выключатель нагрузки. Сделать это несложно, поскольку малогабаритных разъединителей нагрузки с установкой на дин-рейку на рынке предостаточно. В этом случае при кз будет отключаться только аварийная групповая линия.

При перегрузках селективную работу автоматических выключателей обеспечить просто. Для этого достаточно, чтобы номинальный ток автомата со стороны питания был больше номинального тока автоматического выключателя со стороны потребителей.

### **Проверка тепловых и электромагнитных расцепителей автоматических выключателей [19]**

#### **Схемы испытаний и нагрузочные устройства**

Расцепители автоматических выключателей регулируют и калибруют на заводе-изготовителе, после чего их крышки пломбируют. Открывать крышки и регулировать расцепители не допускается. При наружном осмотре проверяют отсутствие повреждений основания

кожуха и крышки автоматического выключателя, производят несколько включений и отключений вручную, проверяя действие расцепителей.

Тепловые расцепители проверяют по схеме, приведенной на рисунке 3.14 (а, б).

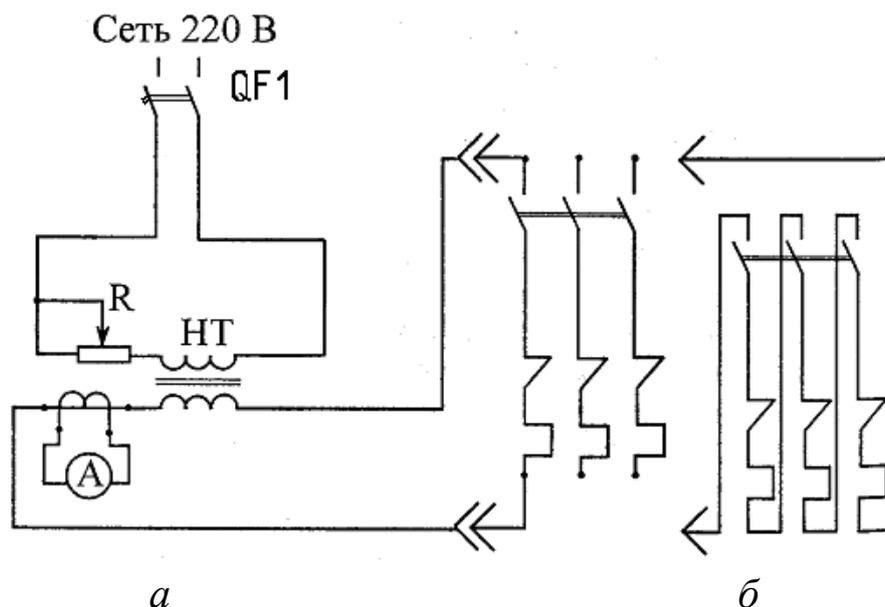


Рис. 3.14. Схемы испытания расцепителей автоматических выключателей:  
а – поочередная нагрузка полюсов автоматического выключателя;  
б – одновременная нагрузка полюсов автоматического выключателя  
испытательным током

На заводе-изготовителе тепловые расцепители калибруют по начальному току срабатывания.

Проверка этого тока требует больших затрат времени. Поэтому при приемосдаточных и эксплуатационных испытаниях проверку производят в форсированном режиме: при трех-, пятикратном номинальном токе теплового расцепителя.

Для каждого типа выключателя и расцепителя время срабатывания при трех – пяти кратной нагрузке не должно превышать указанного заводом. Заводские данные даются для случая одновременной нагрузки испытательным током всех полюсов выключателя, соединенных последовательно (рис. 3.14, б).

Однако при одновременной нагрузке всех полюсов проверка не дает гарантии исправности каждого расцепителя. Поэтому, кроме проверки при одновременной нагрузке всех полюсов выключателя, целесообразно проверить каждый тепловой расцепитель в отдельности.

При испытании тепловых расцепителей необходимо помнить, если тепловой элемент не срабатывает и не произойдет отключения автоматического выключателя за максимально допустимое для него время, необходимо отключить испытательный ток во избежание перегрева и порчи расцепителя.

Максимально допустимое время примерно равно двойному времени срабатывания при форсированном режиме испытания.

Электромагнитные расцепители проверяются только при поочередной нагрузке испытательным током каждой фазы автоматического выключателя (рис. 3.14, а). При этом нагрузочный ток повышают до 0,8 значения тока отсечки, указанного в паспортных данных выключателя, или до нижнего предела тока мгновенного расцепления для выключателей типов В, С, D и аналогичных. Электромагнитный расцепитель не должен сработать. После этого нагрузочный ток увеличивается до 1,2 тока отсечки, или до верхнего предела тока мгновенного расцепления для выключателей типов В, С, D.

Электромагнитный расцепитель должен сработать. Это означает, что ток отсечки находится в допустимых пределах.

При проверке комбинированных расцепителей (с тепловыми и электромагнитными элементами) нагрузочный ток необходимо повышать быстро, чтобы не успел сработать тепловой расцепитель. Чтобы убедиться в том, что тепловой расцепитель не сработал, сразу после отключения выключатель включают вручную, при срабатывании теплового расцепителя повторное его включение не произойдет.

Принципиальная схема проверки тепловых и электромагнитных расцепителей автоматического выключателя предусматривает:

- проверку каждого полюса в отдельности (рис. 3.14, а);
  - проверку при одновременной нагрузке всех полюсов (рис. 3.14, б);
- R – реостат (автотрансформатор);  
НТ – нагрузочный трансформатор.

В качестве испытательных устройств в схеме могут быть использованы следующие нагрузочные устройства и трансформаторы:

- ТН-3 (разработчик ЦЛЭМ Мосэнерго), максимальный ток нагрузки 1800 А;
- НТ-10 (разработчик ВНИИПЭМ), максимальный ток нагрузки 10000 А;
- нагрузочное устройство РТ-2048 в комплекте с однофазным нагрузочным трансформатором ТОН-7М2 (Ассоциация наладочных организаций, Санкт-Петербург, завод «Электросила»), максимальный

ток нагрузки 11000 А, снабжено электронным секундомером для измерения времени срабатывания расцепителей.

В качестве нагрузочных устройств могут также использоваться сварочные или котельные трансформаторы с регулировкой напряжения по первичной стороне (регулируемые автотрансформаторы типа РНО или регулировочные реостаты). В настоящее время широкое распространение получили разработанные НПО «Радиус» совместно с фирмой ОРГРЭС специализированные испытательные устройства серии «Сатурн» [19], выполняемые в двух вариантах: «Сатурн-М» и «Сатурн-М1», а также разработанные Ассоциацией наладочных организаций комплекты НТИ-1 с пультом РТ2048М, НТИ-2, НТИ-5 и НТИ-10 с пультом РТ2048 [19];

– комплектный источник тока КИТ-10, максимальный ток нагрузки 10000 А [19];

– нагрузочное устройство конструкции КрасГАУ, максимальный ток нагрузки 500 А.

В соответствии со стандартом МЭК 60898, устанавливающим требования к автоматическим выключателям бытового и аналогичного назначения, АВ должны нормально расцепляться при протекании испытательного тока в течение установленного для данного типа АВ времени, согласно параметрам, приведенным в таблице 3.4.

Таблица 3.4

### Параметры нормальной времятоковой зоны АВ

Тип мгновенного расцепления	Испытательный ток	Начальное состояние	Предел времени расцепления или нерасцепления	Требуемый результат
В	3,00	Холодное	$0,1c < t < 45c$ ( $I_n \leq 32 A$ ) $0,1c < t < 90c$ ( $I_n > 32A$ )	Расцепление
С	5,00		$0,1c < t < 15c$ ( $I_n \leq 32A$ ) $0,1c < t < 30c$ ( $I_n > 32A$ )	
Д	10,00		$0,1c < t < 4c$ ( $I_n \leq 32A$ ) $-0,1c < t < 8c$ ( $I_n > 32A$ )	

– Собрать схему проверки в соответствии с инструкцией изготовителя используемого нагрузочного устройства.

– Для проверки тепловых расцепителей пропустить через каждый, находящийся в холодном состоянии, полюс выключателя тока, равный  $2,55 I_n$  (при такой величине тока электромагнитный расцепитель АВ не сработает при любом типе мгновенного расцепителя).

Время расцепления должно составлять не менее 1 с и не более:

60 с – при номинальных токах выключателей до 32 А;

120 с – при номинальных токах выключателей выше 32 А.

– Для проверки электромагнитных расцепителей типа «В» пропустить через каждый полюс ток, равный  $3 I_n$ . Время расцепления должно быть не менее 0,1 с.

Пропустить через каждый полюс ток, равный  $5 I_n$ . Время расцепления должно быть менее 0,1 с.

– Для проверки электромагнитных расцепителей типа «С» пропустить через каждый полюс ток, равный  $5 I_n$ . Время расцепления должно быть не менее 0,1 с.

Пропустить через каждый полюс ток, равный  $10 I_n$ . Время расцепления должно быть менее 0,1 с.

– Для проверки электромагнитных расцепителей типа «D» пропустить через каждый полюс ток, равный  $10 I_n$ . Время расцепления должно быть не менее 0,1 с.

Пропустить через каждый полюс ток, равный  $50 I_n$ . Время расцепления должно быть менее 0,1 с.

Так же, как и при проверке тепловых расцепителей, полюса выключателей перед каждым испытанием должны находиться в холодном состоянии.

Термин «холодное» означает: «Без предварительного пропуска тока при контрольной температуре калибровки» (ГОСТ Р 50345-99). Контрольная температура калибровки – 30 °С.

Испытания проводят при любой температуре, а результаты корректируют к температуре 30 °С на основании поправочных коэффициентов изготовителя. При отсутствии данных изготовителя испытательные токи устанавливают отличными от указанных на 1,2 % на каждый градус изменения температуры, при которой проводятся испытания.

**Пример:** при проведении испытаний при температуре 20 °С испытательные токи следует увеличивать на 12 %.

## Порядок выполнения работы

1. Замкните вторичную обмотку прогрузочного устройства конструкции КрасГАУ накоротко (соедините вместе клеммы проводов, подсоединенных ко вторичной обмотке устройства), предварительно установив реостат регулирования тока в положение «0» (рис. 3.14, а).

2. Подключите устройство в сеть и подайте напряжение с помощью автоматического выключателя, установленного на его корпусе. Вращая ручку регулировочного реостата, установите ток, равный  $80 \text{ A}$  ( $5I_n$ ). Отключите питание. Разомкните клеммы.

3. Подсоедините автоматический выключатель на номинальный ток  $16 \text{ A}$  с характеристикой «С» (рис. 3.15), предложенный преподавателем для испытаний, к клеммам прогрузочного устройства конструкции КрасГАУ, согласно схеме, приведенной на рисунке 3.14, а.

4. Подайте питание с помощью автоматического выключателя. Как описано выше, электромагнитный расцепитель испытываемого автоматического выключателя должен сработать более, чем за  $0,1 \text{ с}$ . Убедитесь в этом. Отключите питание. Отсоедините автоматический выключатель от прогрузочного устройства.

5. Снова подайте напряжение на прогрузочное устройство. Вращая ручку регулировочного реостата, теперь установите ток, равный  $160 \text{ A}$  ( $10 I_n$ ). Отключите питание. Разомкните клеммы.

6. Снова подсоедините автоматический выключатель к клеммам прогрузочного устройства, согласно схеме, приведенной на рисунке 3.14, а.

7. Подайте питание с помощью автоматического выключателя. Как описано выше, электромагнитный расцепитель испытываемого автоматического выключателя должен сработать мгновенно (менее, чем за  $0,01 \text{ с}$ ). Убедитесь в этом. Если отключение не произойдет в течение  $5 \text{ с}$ , отключите питание.

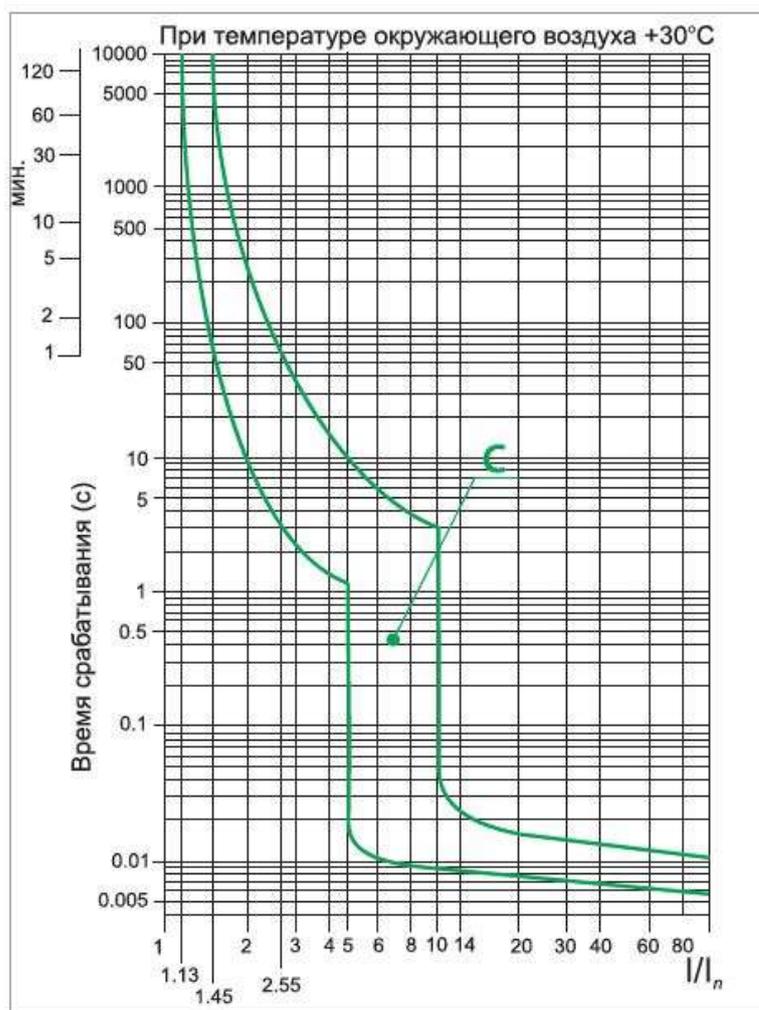


Рис. 3.15. Времятоковая характеристика испытываемого автоматического выключателя

8. Для определения времени срабатывания тепловых расцепителей автоматического выключателя, по вышеуказанной методике пропустите через каждый находящийся в холодном состоянии полюс АВ ток, равный  $2,55 I_n$  (40,8 А). Оцените, соответствует ли время срабатывания теплового расцепителя времятоковой характеристике АВ (рис. 3.15).

9. Соедините все полюса автоматического выключателя последовательно и подайте трехкратный ток (48 А). Оцените, соответствует ли время срабатывания теплового расцепителя времятоковой характеристике АВ (рис. 3.15).

10. Сделайте вывод об исправности расцепителей автоматического выключателя.

## Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Расчёт и выбор автоматического выключателя по индивидуальному заданию преподавателя.
3. Результаты испытаний расцепителей автоматического выключателя, предложенного для испытаний преподавателем.
4. Ответы на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Классификация автоматических выключателей.
2. Расскажите об устройстве автоматических выключателей.
3. Какие типы расцепителей устанавливаются в автоматических выключателях?
4. Назначение и принцип работы максимального расцепителя тока.
5. Назначение и принцип работы расцепителя перегрузки.
6. Что такое токоограничивающий расцепитель?
7. Что такое селективная времятоковая характеристика расцепителя автоматического выключателя?
8. Для защиты какого электрооборудования используются АВ с характеристикой А, В, С?
9. Какие вспомогательные электрические устройства применяются с АВ SchneiderElectric серии Multi 9?
10. Перечислите основные преимущества АВ серии ВА88?
11. Дайте расшифровку условного обозначения ВА88.
12. Какие дополнительные устройства можно установить на автоматических выключателях ВА88?
13. Назначение независимого расцепителя АВ.
14. Назначение расцепителя минимального напряжения АВ.
15. Назначение дополнительных контактов АВ.
16. Назначение аварийных контактов АВ.
17. Назначение электропривода ЭП-35/37.
18. Отличие АВ серий ВА47-29 и ВА 47-100.
19. Какие преимущества у АВ серии ВА103 перед остальными?
20. Что такое номинальная отключающая способность АВ?

## Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 464 с.
2. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. для вузов / И.Р. Владыкин, А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева, [и др.]. – М.: КолосС, 2007.
3. Сибикин, Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учеб. пособие для проф. учеб. заведений / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Высшая школа, 2003.
4. ГОСТ Р 50030.1-2007 (МЭК 60947-1:2004) Аппаратура и распределения и управления низковольтная. Ч 1.
5. Компания АВВ [Официальный сайт] URL: <http://www.abb.ru/product/ru/9AAC100085.aspx> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
6. Siemens – Электротехническая продукция [Официальный сайт] URL: <http://electrosiemens.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
7. Компания Schneider-electric [Официальный сайт] URL: <http://www.schneider-electric.com/ru/ru> (дата обращения 01 сентября 2014 г.).
8. Компания Legrand [Официальный сайт] URL: <http://www.legrand-russia.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
9. Компания Moeller [Официальный сайт] URL: <http://www.moeller.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
10. Компания Hager[Официальный сайт] URL: <http://www.hagersystems.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
11. ЧЭАЗ – Чебоксарский электроаппаратный завод [Официальный сайт] URL: <http://www.cheaz.ru/ru/> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
12. ОАО «Контактор» – Ульяновск [Официальный сайт] URL: <http://www.kontaktor.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
13. КЭАЗ – Курский электроаппаратный завод [Официальный сайт] URL: <http://keaz.ru> (дата обращения 01 сентября 2014 г.).
14. EKFelectrotechnica [Официальный сайт] URL: <http://ekfgroup.com/produktsiya> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
15. ИЕК – Интер электро комплект [Официальный сайт] URL: <http://www.iek.ru> (дата обращения 1 сентября 2014 г.).
16. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие: в 2 кн. Кн. 2 / А.Г. Черных, А.Д. Елифанов, И.В. Алту-

хов. – 3-е изд., испр. и доп. – Иркутск: Изд-во Иркутск. гос. с.-х. акад., 2013. – 235 с.

17. Защита электрических сетей 0,4 кВ: учеб.-метод. пособие / сост. Р.П. Короткий, В.Н. Курапин, В.В. Цыганов. – Волгоград: Изд-во Волгогр. гос. с.-х. акад., 2007. – 44 с.

18. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 50345-2010 (МЭК 60898-1:2003) «Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Ч. I. Автоматические выключатели для переменного тока» (утв. приказом Федерального агентства РФ по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2010 г. № 710-ст).

19. Эксплуатация электрооборудования. Испытания электрооборудования и аппаратов электроустановок потребителей: лаборат. практи. / А.В. Бастрон, А.В. Мещеряков, Е.С. Тыртышный [и др.]; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – 231 с.

## Лабораторная работа 4

# ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

### Цель работы

Изучить принцип действия и конструкции устройств защитного отключения (УЗО).

Ознакомиться с УЗО отечественного и импортного производства. Освоить методику определения дифференциального отключающего тока УЗО.

### Задание к работе

1. Изучить устройство и принцип действия УЗО.
2. Изучить схемы включения УЗО.
3. Произвести монтаж схемы включения УЗО.
4. Снять защитные характеристики УЗО.

### Общие сведения

Защитное отключение – электрозщитная мера, основанная на применении быстродействующих коммутационных аппаратов, отключающих питание электроустановки при возникновении в ней тока утечки на землю, или на защитный проводник, которое могло быть вызвано непреднамеренным включением человека в электрическую цепь.

Устройства, реализующие защитное отключение, согласно действующему ГОСТ Р 53312-2009 называются устройствами защитного отключения (УЗО).

В основе действия защитного отключения как электрозщитного средства лежит принцип ограничения (за счет быстрого отключения) продолжительности протекания тока через тело человека при непреднамеренном прикосновении его к элементам электроустановки, находящимся под напряжением.

На рисунке 4.1 представлены граничные кривые переменного тока промышленной частоты (сообщение Международной энергетической комиссии (МЭК) 479, глава 2, 3-е издание 1994 года), характеризующие воздействие электрического тока на человека в зависимости

от продолжительности времени его протекания. Необходимые пояснения к рисунку 4.1 приведены в таблице 4.1.



Рис. 4.1. Граничные кривые переменного тока

Таблица 4.1

### Воздействие электрического тока на организм человека

Обозначение интервала АС переменного тока	Предельное значение тока в интервале	Физиологическое воздействие
1	2	3
АС-1	до 0,5 мА (прямая <i>a</i> )	Обычно без ощутимого воздействия
АС-2	от 0,5 мА до ломаной линии <i>b</i>	Обычно без вредного физиологического воздействия
АС-3	от ломаной линии <i>b</i> до кривой <i>c1</i>	Обычно без органического повреждения. Возможна судорога мышц и проблемы с дыханием, если ток протекает дольше 2 с. Нарушение сердечной деятельности без фибрилляции сердечной мышцы наблюдается только при более продолжительном времени протекания и при более высоких значениях тока

1	2	3
АС-4	выше кривой <i>c1</i>	Увеличивается вероятность возникновения таких опасных патологических явлений, как остановка дыхания и тяжелые ожоги
АС-4-1	<i>c1-c2</i>	Вероятность возникновения фибрилляции сердечной мышцы 5 %
АС-4-2	<i>c2-c3</i>	Вероятность возникновения фибрилляции сердечной мышцы приблизительно 50 %
АС-4-3	выше кривой <i>c3</i>	Вероятность возникновения фибрилляции сердечной мышцы выше 50 %

Главным фактором, обуславливающим отсутствие смертельного исхода при поражении человека электрическим током, является малое время протекания электрического тока.

В специальной литературе приводится значение предельно допустимого произведения тока, протекающего по телу человека, и времени его протекания, равного 70 мА·с. При значениях сопротивления тела человека 2000 Ом и напряжения прикосновения 230 В величина тока, протекающего по телу, составит  $230/2000 = 0,115$  А. Время протекания тока в этом случае не должно превышать значения 0,6 с. В случае использования УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током, равным  $I_{\Delta n} = 30$  мА (рис. 4.1), значение времени отключения при касании человеком токоведущего проводника обычно находится в пределах от 10 до 30 мс, что гарантирует высокую степень безопасности.

ГОСТ Р 505713-94 (стандарт МЭК 60 364-4-41) устанавливает требования по обеспечению защиты от поражения электрическим током при эксплуатации зданий. Эта защита осуществляется применением мер, которые должны:

- а) предотвратить возможность протекания тока через тело человека (изоляция токоведущих частей, уравнение потенциалов и другие);
- б) ограничить величину тока, протекающего через тело человека, до безопасного значения, путем использования систем безопасного сверхнизкого напряжения;
- в) быстро отключить неисправное электрооборудование от источника питания (предохранители, автоматические выключатели, УЗО).

В соответствии с 413-м разделом МЭК 60 364-4-41 мерами для обеспечения защиты от косвенного прикосновения являются:

- автоматическое отключение питания за определенное время (наибольшее время, в течение которого должно произойти автоматическое отключение источника питания, нормируется исходя из данных о воздействии электрического тока на организм человека (рис. 4.1));
- применение электрооборудования класса II или с равноценной изоляцией;
- применение изолирующих (непроводящих) помещений, зон, площадок;
- использование незаземленной системы местного уравнивания потенциалов;
- электрическое разделение цепей (с помощью разделяющего трансформатора или источника питания, равноценного ему по степени обеспечения электробезопасности).

Защита посредством автоматического отключения питания в установленном время может быть использована в системах заземления типов TN, TT и IT.

В соответствии с ГОСТ Р50571.2.94 (МЭК 364-3-93) в обозначении системы заземляющего устройства первая буква I или T характеризует режим нейтрали трансформатора (генератора). Буква I означает, что сеть с изолированной нейтралью (нейтраль трансформатора изолирована от земли или связана с землей через очень большое сопротивление или разрядник). Буква T означает, что нейтраль трансформатора имеет глухое заземление.

Вторая буква в обозначении системы характеризует тип соединения с землей нетоковедущих частей (корпуса) электроустановки, доступных прикосновению, которые могут оказаться случайно под напряжением. Буква T означает прямое соединение открытых проводящих частей (корпусов) электроустановки с землей без связи их с нулевым многократно заземленным проводом, без связи их с нейтралью трансформатора.

Буква N указывает на присоединение нетоковедущих частей (корпусов) электроустановки с заземленной нейтралью (с нулевым многократно заземленным проводом) посредством PEN- или PE-проводников.

Последующие буквы характеризуют устройство нулевого защитного и нулевого рабочего проводников. Буква S означает, что функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (PEN-проводнике), буква S – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводника обеспечиваются отдельными проводниками (табл. 4.2).

Условные графические изображения на электрических схемах нулевых рабочих и нулевых защитных проводников приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

**Условные графические изображения на электрических схемах нулевых рабочих и нулевых защитных проводников**

Графическое изображение	Наименование проводника
	Нулевой рабочий проводник (N)
	Нулевой защитный проводник (PE)
	Совмещенный нулевой рабочий и нулевой защитный проводник (PEN)

Система заземления и зануления TN-S имеет N-проводник и PE-проводник, которые работают отдельно по всей системе. В этой системе устройство защитного отключения может устанавливаться в любой точке сети. Однако при этом в трехфазных сетях переменного тока для реализации системы TN-S требуется во всей сети с глухо заземленной нейтралью с занулением от трансформатора (генератора) до электроприемника применять пятипроводные линии (рис. 4.2). Это делает систему TN-S более дорогой и сложной.

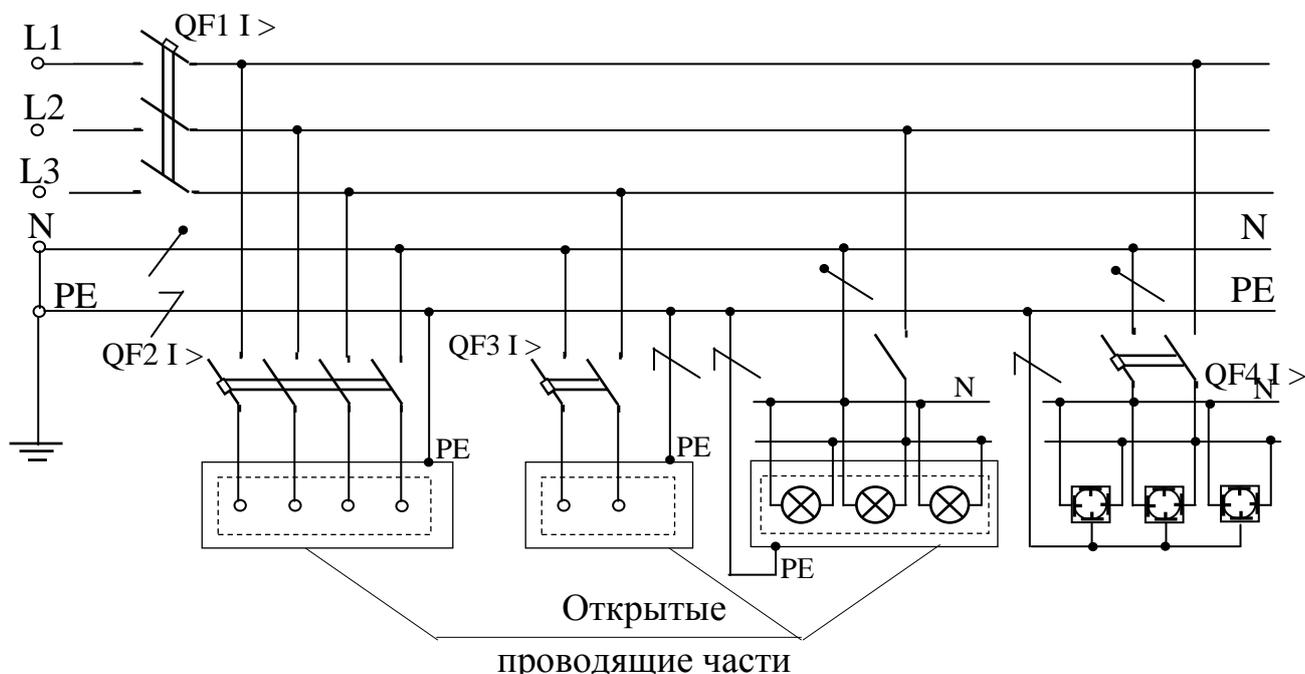


Рис. 4.2. Система заземления TN-S в трехфазных сетях переменного тока

Проводник N, вводимый вовнутрь электроустановки, подключается к нейтральной точке нагрузки с целью выравнивания напряжения на фазах нагрузки и для канализации рабочего тока в нулевом проводе. РЕ-проводник подключается к корпусу нагрузки и является нулевым защитным проводником.

Система заземления и зануления TN-C-S является комбинацией систем заземления TN-C и TN-S, в которой PEN-проводник используется только в сети общего пользования. В какой-то точке сети PEN-проводник разделяется на два проводника РЕ-проводник и N-проводник. После точки разделения РЕ- и N-проводники соединять (объединять) запрещается, N-проводник изолируется от корпуса, при этом предусматриваются отдельные зажимы или шины для РЕ-проводника и N-проводника. Разделение PEN-проводника в системе TN-C-S обычно осуществляется на вводе в электроустановку. В точке разделения PEN-проводник заземляется на повторный контур заземления (рис. 4.3).

К PEN-проводнику предъявляются следующие требования в системе TN-C-S:

- сечение медного проводника должно быть не менее  $10 \text{ мм}^2$ ;
- сечение алюминиевого проводника должно быть не менее  $16 \text{ мм}^2$ ;
- электроустановки с PEN-проводником не должны быть оснащены УЗО, реагирующими на дифференциальный ток. Устройства защитного отключения могут быть установлены только после разделения PEN-проводника со стороны электроприемников.

Следует отметить, что система TN-C-S является наиболее перспективной для практического применения, так как она позволяет применить УЗО при использовании отдельных РЕ- и N-проводников, что дает возможность обеспечить более высокий уровень электробезопасности по сравнению с системой TN-C, а в существующих электрических сетях не требуется реконструкция.

В системе заземления ТТ нейтраль трансформатора или генератора глухо заземлена, а открытые токопроводящие части корпуса оборудования присоединены к заземлителю, независимому от заземлителя нейтрали источника питания (рис. 4.4). В данной системе заземляющие устройства выполняются без связи между собой, таких устройств может быть несколько. Эта система применяется в электросетях напряжением 110 кВ и выше, когда электроэнергия передается на большие расстояния по трехпроводной трехфазной линии, а заземляющие

устройства выполняются «собственные» на каждой повышающей или понижающей подстанции.

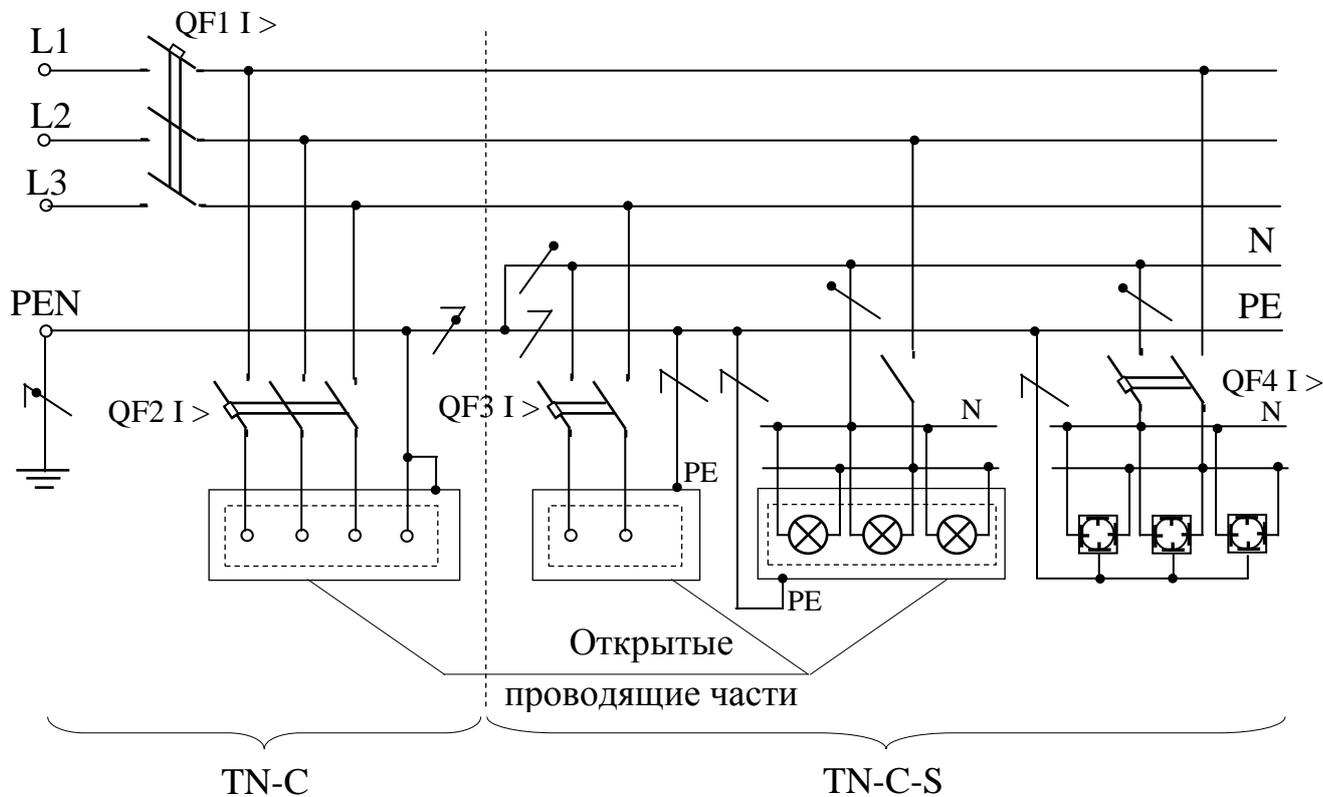
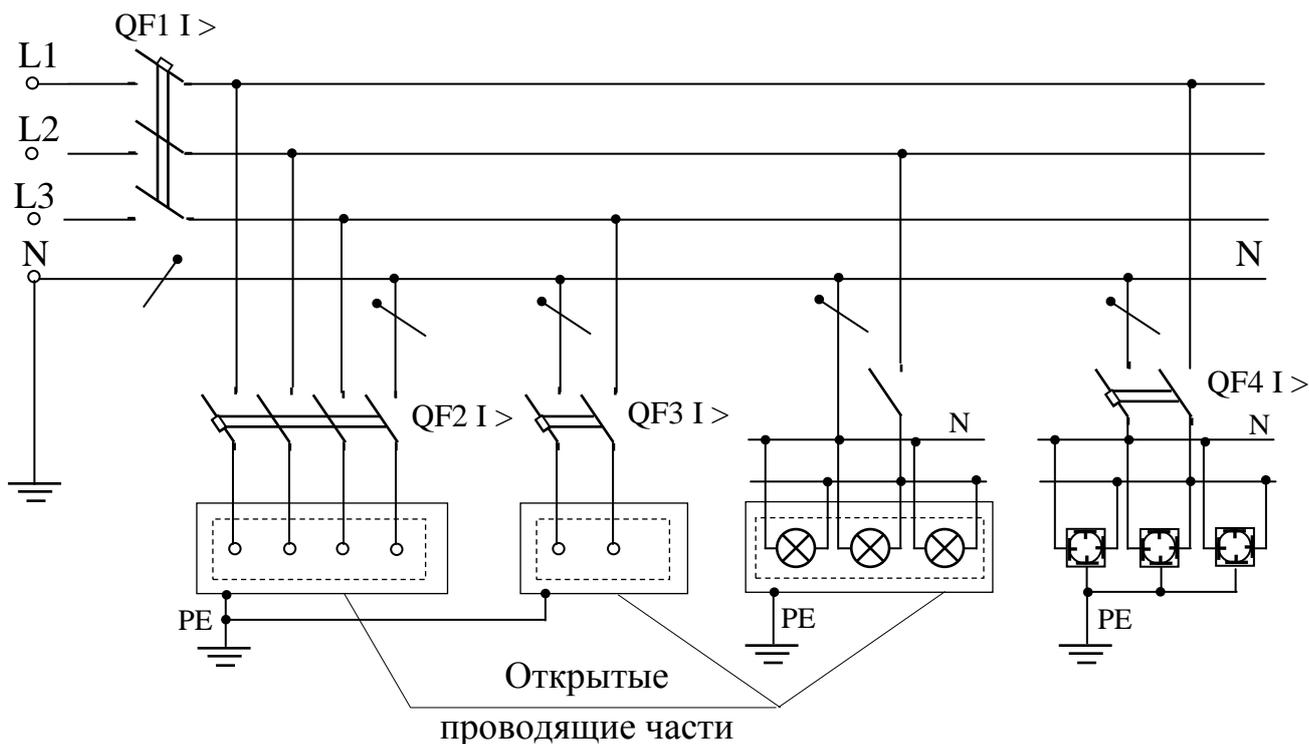


Рис. 4.3. Система заземления TN-C и TN-C-S в трехфазных сетях переменного тока

В некоторых случаях по ГОСТ Р50669 рекомендуется использовать эту систему при проектировании, монтаже и эксплуатации электроустановок зданий и помещений из металла (киоски, павильоны и т. п.), где существует металлическая связь между источником и электроприемником. Это правило распространяется и на электроприемники передвижных установок от передвижных автономных источников питания, где имеется металлическая связь корпусов электрооборудования.

Защита от сверхтоков, используемая в сетях системы TT, TN и IT, в части обеспечения электробезопасности имеет ряд технических недостатков, например:

а) в ряде случаев приходится ограничивать мощность потребления электроприемников для того, чтобы обеспечить нужное сопротивление заземляющего устройства  $R_A$  или полного сопротивления цепи замыкания  $Z_A$ ;



*Рис. 4.4. Система заземления ТТ в трехфазных сетях переменного тока*

б) если значения  $Z_A$  или  $R_A$  в месте повреждения недостаточно малы, то на открытых проводящих частях может появиться опасное напряжение прикосновения. При небольшом значении тока повреждения время отключения велико. В течение этого времени на открытой проводящей части присутствует опасное напряжение прикосновения, а защитный проводник осуществляет вынос потенциала на другие открытые проводящие части;

в) в сетях системы TN-C на открытых проводящих частях появляется фазное напряжение в случаях:

- замены проводника PEN на фазный;
- обрыва проводника PEN;

г) при замене аппарата защиты на аппарат с большим номинальным током, выполненной неквалифицированным персоналом, время отключения поврежденного участка может превышать допустимое, либо отключение может вообще не произойти;

д) защита от непосредственного прикосновения к токоведущим частям не обеспечивается.

Кроме того, выполнение требований, обеспечивающих электробезопасность в сети системы ТТ посредством предохранителей или автоматических выключателей, практически не реализуемо. Поэтому в

таких сетях должны использоваться УЗО. В свою очередь, в сетях систем TN и IT с введением в действие стандарта МЭК 60 364-4-41 ужесточаются требования ко времени отключения защитными аппаратами поврежденного участка сети. Для случаев, когда реализация увеличения сечений проводников затруднена, стандарт четко определяет альтернативное решение – использование УЗО.

Устройство защитного отключения является превентивным электротехническим мероприятием и в сочетании с современными системами заземления (TN-S, TN-C-S, TT) обеспечивает высокий уровень электробезопасности при эксплуатации электроустановок.

Принцип работы УЗО состоит в том, что оно постоянно контролирует входной сигнал и сравнивает его с наперед заданной величиной (уставкой). Если входной сигнал превышает уставку, то устройство срабатывает и отключает защищенную электроустановку от сети. В качестве входных сигналов устройств защитного отключения используют различные параметры электрических сетей, которые несут в себе информацию об условиях поражения человека электрическим током.

Все УЗО по виду входного сигнала классифицируют на несколько типов (рис. 4.5).

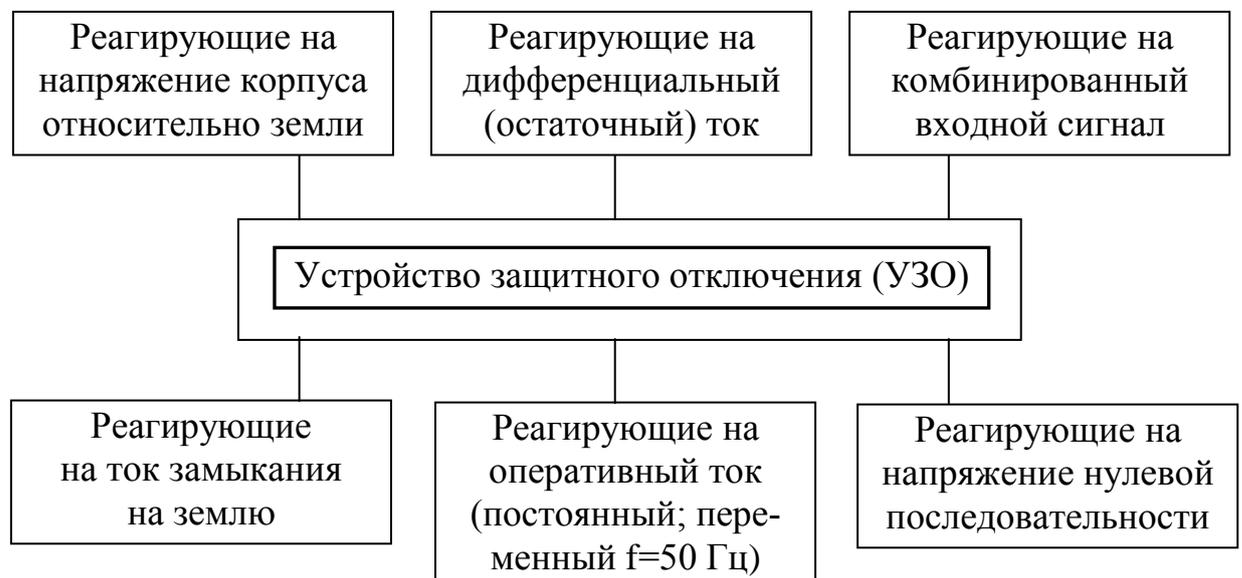


Рис. 4.5. Классификация УЗО по виду входного сигнала

Кроме того, УЗО могут классифицироваться по другим критериям, например, по конструктивному исполнению.

Основными элементами любого устройства защитного отключения являются датчик, преобразователь и исполнительный орган.

Принцип действия УЗО дифференциального типа основан на применении электромагнитного векторного сумматора токов – дифференциального трансформатора тока. Сравнение текущих значений двух и более (в четырехполюсных УЗО – четырех) токов по амплитуде и фазе наиболее эффективно, т. е. с минимальной погрешностью, осуществляется электромагнитным путем – с помощью дифференциального трансформатора тока (рис. 4.6).

Конструктивно дифференциальные УЗО разделяются на два типа:

– электромеханические УЗО, функционально не зависящие от напряжения питания. Источником энергии, необходимой для функционирования таких УЗО – выполнения защитных функций, включая операцию отключения, является сам входной сигнал – дифференциальный ток, на который оно реагирует;

– электронные УЗО, функционально зависящие от напряжения питания. Их механизм для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой сети, либо от внешнего источника.

Применение устройств, функционально зависящих от напряжения питания, более ограничено в силу их меньшей надежности и подверженности воздействию внешних факторов. Однако основной причиной меньшего распространения таких устройств является их неработоспособность при часто встречающейся и наиболее опасной по условиям вероятности электропоражения неисправности электроустановки, а именно – при обрыве нулевого проводника в цепи до УЗО по направлению к источнику питания. В этом случае электронное УЗО, не имея питания, не функционирует, а на электроустановку по фазному проводнику выносится опасный для жизни человека потенциал.

К магнитопроводу трансформатора тока электромеханического УЗО предъявляются чрезвычайно высокие требования по качеству: высокая чувствительность, линейность характеристики намагничивания, температурная и временная стабильность и т. д. По этой причине для изготовления магнитопроводов трансформаторов тока, применяемых при производстве УЗО, используется специальное высококачественное аморфное (некристаллическое) железо.

Важнейшим функциональным блоком УЗО (рис. 4.6) является дифференциальный трансформатор тока *I*. В абсолютном большинстве УЗО, производимых и эксплуатируемых в настоящее время во всем мире, в качестве датчика дифференциального тока используется именно трансформатор тока. В литературе по вопросам конструирования и

применения УЗО этот трансформатор иногда называют трансформатором тока нулевой последовательности (ТТНП), хотя понятие «нулевая последовательность» применимо только к трехфазным цепям и используется при расчетах несимметричных режимов многофазных цепей.

Пусковой орган (пороговый элемент) 2 выполняется, как правило, на чувствительных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах. Исполнительный механизм 3 включает в себя силовую контактную группу с пружинным механизмом привода.

В нормальном режиме, при отсутствии дифференциального тока – тока утечки, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода и образующим встречно включенные первичные обмотки дифференциального трансформатора тока  $I$ , протекает рабочий ток нагрузки  $I_1 = I_2$ . Ток  $I_1$  протекает по направлению к нагрузке,  $I_2$  – от нагрузки.

Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока, равные по значению, но противоположно направленные магнитные потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Результирующий магнитный поток оказывается равным нулю, следовательно, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также будет отсутствовать. При этом пусковой орган 2 находится в состоянии покоя.

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, который в результате пробоя изоляции оказался под напряжением, по фазному проводнику через УЗО, кроме тока нагрузки  $I_1$ , потечет дополнительный ток  $\Delta I$  (ток утечки), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным). Неравенство токов в первичных обмотках –  $I_1 + \Delta I$  в фазном проводнике и  $I_2 = I_1$  в нулевом рабочем проводнике – вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает заданное значение тока порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3. Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

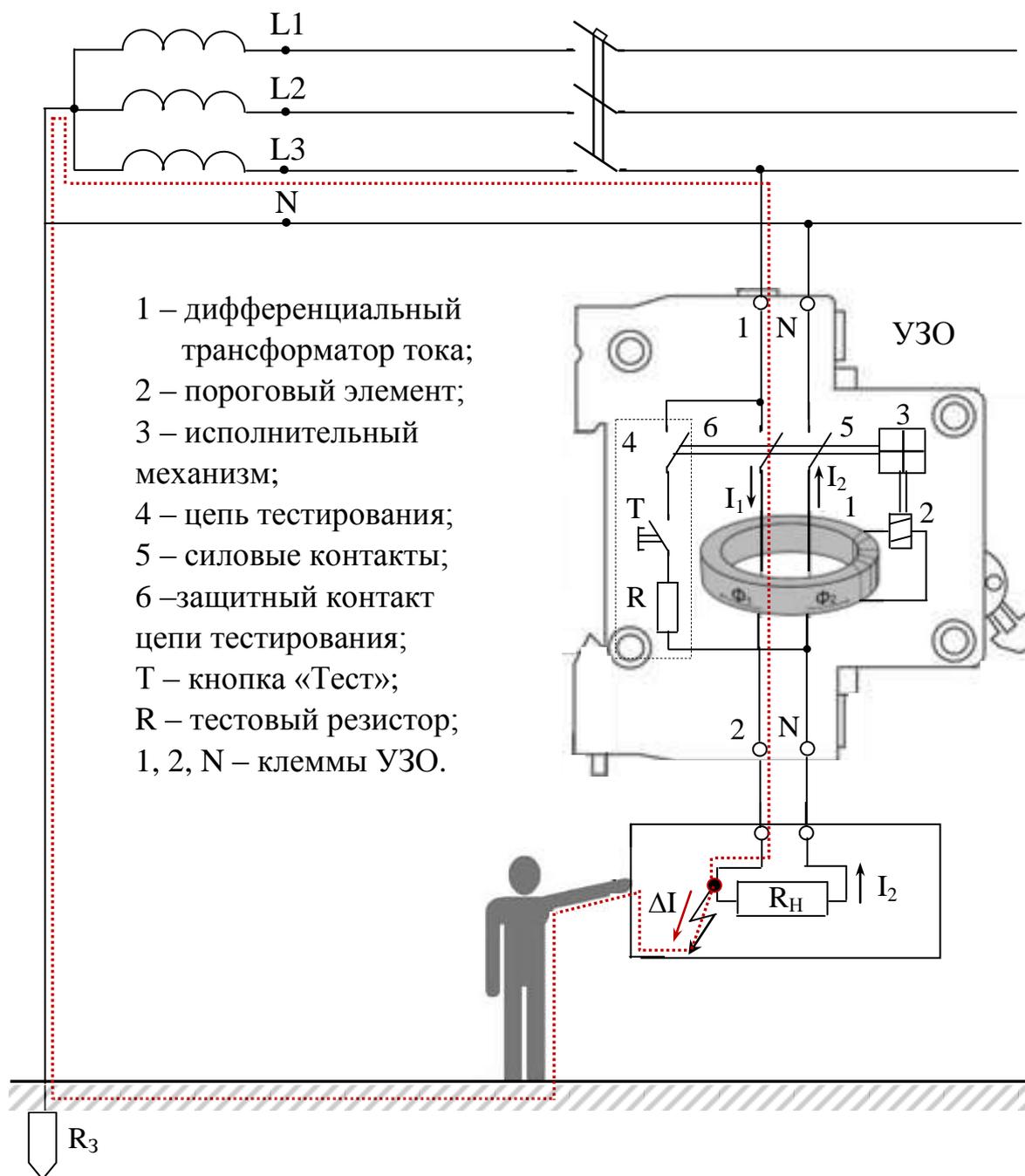


Рис. 4.6. Структурная схема и принцип действия УЗО

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, который в результате пробоя изоляции оказался под напряжением, по фазному проводнику через УЗО, кроме тока нагрузки  $I_1$ , потечет дополнительный ток  $\Delta I$  (ток утечки), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным). Неравенство токов в первичных обмотках –  $I_1 + \Delta I$  в фазном проводнике и  $I_2 = I_1$  в нулевом рабочем проводнике – вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает заданное значение тока порогового элемента пус-

кового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3. Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4. При нажатии кнопки «Т» искусственно создается цепь протекания отключающего дифференциального тока. Срабатывание УЗО в этом случае означает, что устройство в целом исправно.

Основными параметрами, по которым подбирается то или иное УЗО, являются: номинальный ток нагрузки, т. е. рабочий ток электроустановки, который протекает через нормально замкнутые контакты УЗО в дежурном режиме; номинальное напряжение; уставка; время срабатывания устройства.

Номинальное напряжение ( $U_n$ ) – значение напряжения, установленное изготовителем УЗО, при котором устройство работоспособно. Обычно 220 или 380 В. Равенство напряжения в сети и номинального напряжения УЗО очень важно для электронных УЗО. От этого сильно зависит его работоспособность.

Номинальный ток ( $I_n$ ) – максимальный ток, при котором УЗО сохраняет свою работоспособность продолжительное время. Номинальный ток УЗО выбирается из ряда: 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 63, 80, 100, 125 А. Поскольку УЗО должно быть защищено последовательным защитным устройством (ПЗУ), номинальный ток нагрузки УЗО должен быть скоординирован с номинальным током ПЗУ. Номинальный ток нагрузки УЗО должен быть равен или на ступень выше номинального тока последовательного защитного устройства. Это означает, что, например, в цепь, защищаемую автоматическим выключателем с номинальным током нагрузки 25 А, должно быть установлено УЗО с номинальным током 40 А (см. табл. 4.3).

*Таблица 4.3*

**Согласование тока УЗО с током последовательного  
защитного устройства**

Устройство	Номинальный ток нагрузки, А						
	10	16	25	40	63	80	100
ПЗУ	10	16	25	40	63	80	100
УЗО	16	25	40	63	80	100	125

Целесообразность такого требования можно объяснить простым примером. Если УЗО и автоматический выключатель имеют равные номинальные токи, то при протекании тока, превышающего номинальный, например, на 45 %, т. е. тока перегрузки, этот ток будет отключен автоматическим выключателем за время до одного часа. Это означает, что этот период времени УЗО будет перегружено. Номинальный не отключающий дифференциальный ток УЗО равен половине значения тока уставки. Это означает, что реальное значение дифференциального тока, при котором УЗО срабатывает, находится в диапазоне от половины до целого значения номинального отключающего тока. При этом каждое конкретное устройство имеет, как правило, определенное стабильное значение отключающего тока, находящееся в указанном диапазоне. Проектировщики и пользователи УЗО должны во избежание ложных отключений учитывать данное обстоятельство и сопоставлять реальное значение отключающего тока с «фоновым» током утечки в электроустановке.

Номинальный отключающий дифференциальный ток ( $I_{\Delta n}$ ) – ток утечки. Основная характеристика УЗО. Данное значение показывает величину дифференциального тока, указанное при котором УЗО должно срабатывать при заданных условиях. Номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО выбирается из следующего ряда: 6, 10, 30, 100, 300, 500 мА. Уставку УЗО для каждого конкретного случая применения выбирают с учетом следующих факторов:

- значения существующего в данной электроустановке суммарного (с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников) тока утечки на землю – так называемого «фонового тока утечки»;

- значения допустимого тока через человека на основе критериев электробезопасности;

- реального значения отключающего дифференциального тока УЗО, которое в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50807-94 находится в диапазоне  $(0,5 \div 1) I_{\Delta n}$ . Согласно требованиям ПУЭ ([1] п. 7.1.83), номинальный дифференциальный отключающий ток УЗО должен быть не менее чем в три раза больше суммарного тока утечки защищаемой цепи электроустановки ( $I_{\Delta}$ ), т. е.  $I_{\Delta n} \geq 3 \cdot I_{\Delta}$ .

Суммарный ток утечки электроустановки замеряется специальными приборами, либо определяется расчетным путем. Рекомендуемые значения на основе критериев электробезопасности номинального

отключающего дифференциального тока –  $I_{\Delta n}$  (уставки) УЗО для диапазона номинальных токов (16–80) А приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4

### Рекомендуемые значения критериев электробезопасности для УЗО

Номинальный ток нагрузки в зоне защиты, А	16	25	40	63	80
$I_{\Delta n}$ при работе в зоне защиты одиночного потребителя, мА	10	30	30	30	100
$I_{\Delta n}$ при работе в зоне защиты группы потребителей, мА	30	30	30 (100)	100	300
$I_{\Delta n}$ УЗО противопожарного назначения на ВРУ, ВРЩ, мА	300	300	300	300	300

При отсутствии фактических (замеренных) значений тока утечки в электроустановке ПУЭ ([1] п. 7.1.83) предписывают принимать ток утечки электроприемников из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки цепи из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника.

В некоторых случаях для определенных потребителей значение уставки задается нормативными документами. В ГОСТ Р 50669-94 применительно к зданиям из металла или с металлическим каркасом задается значение уставки УЗО не выше 30 мА. Временные указания предписывают: для сантехнических кабин, ванных и душевых устанавливать УЗО с током срабатывания: 10 мА, если на них выделена отдельная линия. В остальных случаях (например, при использовании одной линии для сантехнической кабины, кухни и коридора) допускается использовать УЗО с уставкой 30 мА. В индивидуальных жилых домах для групповых цепей, питающих штепсельные розетки внутри дома, включая подвалы, встроенные и пристроенные гаражи, а также в групповых сетях, питающих ванные комнаты, душевые и сауны УЗО с уставкой 30 мА.

ПУЭ ([1] п. 7.1.84) рекомендуется для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземленные части на вводе в квартиру, индивидуальный дом и тому подобное установка УЗО с током срабатывания до 300 мА.

В соответствии с ПУЭ ([1] п. 1.7.177) в животноводческих помещениях, в которых отсутствуют условия, требующие выравнивания потенциалов, должна быть выполнена защита при помощи

УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не менее 100 мА, устанавливаемых на вводном щитке.

Номинальный условный ток короткого замыкания ( $I_{nc}$ ) – характеристика, определяющая надежность и прочность устройства, качество исполнения его механизма и электрических соединений при протекании сверхтока (тока короткого замыкания в сети), значение этого параметра проверяется при сертификационных испытаниях. Еще этот параметр называют «стойкость к току короткого замыкания». Автомат, который защищает цепь, сработает на отключение, но это произойдет через 10 мс. За это время УЗО будет находиться под воздействием сверхтока, если оно сохраняет работоспособность, то его качество считается высоким. Значения номинального тока короткого замыкания стандартизованы и равны: 3000, 4500, 6000 и 10000 А. Минимально допустимое значение – 3000 А. Для УЗО типов S и G (с задержкой срабатывания) предъявляются повышенные требования к току короткого замыкания. Их устанавливают на вводе, и они находятся под воздействием сверхтока более продолжительное время.

Номинальная коммутационная способность ( $I_m$ ) – согласно требованиям, должна быть не менее, чем в 10 раз больше номинального тока или равна 500 А. Качественные устройства имеют, как правило, гораздо более высокую коммутационную способность – 1000, 1500 А. Такие устройства надежнее, и в аварийной ситуации, например, при коротком замыкании на землю, УЗО, опережая автомат защиты, гарантированно произведут отключение электроустановки.

Номинальное время отключения ( $t_n$ ) – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах. Стандартами установлено предельно допустимое время отключения УЗО – 0,3 с. В действительности современные качественные УЗО имеют быстроедействие порядка 20–30 мс. Это означает, что УЗО – «быстрый» выключатель, поэтому на практике возможны ситуации, когда УЗО срабатывает раньше аппарата защиты и отключает как токи нагрузки, так и сверхтоки.

Дополнительные технические характеристики УЗО:

1. Показатель качества изготовления. Номинальный ток короткого замыкания ( $I_{nc}$ ) – один из основных параметров УЗО, характеризующий, прежде всего, качество изделия. Указанное заводом-изготовителем значение этого параметра проверяется при сертификационных испытаниях устройства. Смысл испытания заключается в оп-

ределении термической и электродинамической стойкости изделия при протекании сверхтоков. При испытании на специальном стенде создается цепь из мощного источника и нагрузки, обеспечивающая протекание заданного сверхтока из ряда: 3; 4,5; 6; 10 кА. Испытательный ток не достигает заданного значения, поскольку отключается ранее последовательно включенным защитным аппаратом с нормированной уставкой. Как правило, для этой цели применяются плавкие вставки в виде серебряных проводников калиброванного сечения. Значение  $I_{nc}$ , как важнейшего параметра УЗО, должно обязательно быть приведено на лицевой панели устройства, или в сопроводительной технической документации на УЗО. Для УЗО типов S и G предъявляются повышенные требования по данному параметру, поскольку предполагается, что, во-первых, УЗО этого типа устанавливаются на головном участке сети, где токи короткого замыкания, естественно, выше, во-вторых, такие устройства, имея задержку по срабатыванию, могут находиться под воздействием аварийных токов более продолжительное время.

2. Показатель качества изготовления. Номинальный дифференциальный ток короткого замыкания ( $I_{Dc}$ ) – параметр аналогичен рассмотренному в  $I_{nc}$ . Главным отличием является то, что сверхток протекает по одному проводнику УЗО и испытания проводятся при включении испытательного тока поочередно по отдельным полюсам УЗО.

3. Предельное значение неотключающего сверхтока ( $I_{nm}$ ) – данный параметр характеризует способность УЗО не реагировать на симметричные токи короткого замыкания и перегрузки и также является важным показателем качества устройства. Неправильно считать, что это ток, при котором УЗО должно производить отключение. Нормативы определяют минимальное значение неотключающего тока, равное шестикратному значению номинального тока нагрузки, т. е.  $I_{nm} = 6 \cdot I_n$ . Максимальное значение неотключающего сверхтока не нормируется и может иметь значения, намного превышающие  $6 I_n$ .

4. Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) – ( $I_m$ ) – Коммутационная способность зависит от уровня технического исполнения устройства – качества силовых контактов, мощности пружинного привода, материала (пластмассовых или металлических деталей) и качества механизма, наличия дугогасящей камеры и др. Этот параметр в значительной степени определяет надежность УЗО. В некоторых аварийных режимах УЗО должно осуществить отключение сверхтоков, опережая автоматический

выключатель, при этом оно должно сохранить свою работоспособность.

5. Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току ( $I_{Dm}$ ) – данная характеристика аналогична рассмотренной выше  $I_m$  с той разницей, что предполагается протекание дифференциального сверхтока, например, при коротком замыкании на корпус электроприемника в системе TN-C-S.

По условиям функционирования дифференциальные УЗО подразделяются на следующие типы: AC, A, B, S и G.

УЗО типа AC – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно, либо медленно возрастающий.

УЗО данного типа применяются в системах, где возможен синусоидальный ток утечки на землю. Они не чувствительны к импульсным дифференциальным токам с пиковым значением до 250А (форма волны 8/20  $\mu$ S), которые могут возникнуть, например, при наложении импульсов перенапряжения при включении люминесцентных ламп, рентгеновского оборудования, систем обработки информации, тиристорных преобразователей.

Стандартные значения максимально допустимого времени отключения УЗО типа AC при любом номинальном токе нагрузки и заданных нормами значениях дифференциального тока не должны превышать приведенных в таблице 4.5.

Максимальное время отключения, установленное в таблице 4.5, распространяется также на УЗО типа A. При этом испытания УЗО типа A проводят при значениях токов  $I_{\Delta n}$ ,  $2I_{\Delta n}$ ,  $5I_{\Delta n}$  и 500 А с коэффициентом 1,4 (при  $I_{\Delta n} > 0,01$  А) и с коэффициентом 2 (при  $I_{\Delta n} \leq 0,01$  А).

*Таблица 4.5*

### **Нормируемое максимальное время отключения УЗО**

Номинальный отключающий дифференциальный ток	$I_{\Delta n}$	$2 \cdot I_{\Delta n}$	$5 \cdot I_{\Delta n}$	500 А
Номинальное время отключения $t_n$ , с	<0,3	<0,15	<0,04	<0,04

УЗО типа A – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток, возникающие внезапно, либо медленно возрастающие.

УЗО данного типа не чувствительны к импульсным утечкам с пиковым значением тока до 250 А (форма волны 8/20  $\mu\text{S}$ ). Они предназначены для использования в установках, где имеются электронные выпрямители и фазоимпульсные регуляторы физической величины (скорости, температуры, интенсивности освещения) класса изоляции I, получающие питание непосредственно из электросети без использования трансформатора (класс изоляции II, по своему определению, не допускает утечки на землю). УЗО типа А способны распознавать пульсирующие токи замыкания на землю с постоянной составляющей, которые могут возникать в подобных схемах.

УЗО типа В – устройство защитного отключения, реагирующее на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальные токи.

УЗО данного типа пригодны для защиты установок от пульсирующего постоянного или синусоидального тока утечки, а так же постоянного тока утечки. Способны распознавать постоянный ток утечки с небольшой пульсацией. Их рекомендуется использовать для защиты электродвигателей и инверторных приводов насосов, лифтов, текстильных и обрабатывающих станков.

УЗО типа G – устройство защитного отключения с кратковременной выдержкой времени.

Для электрических потребителей, вызывающих при включении кратковременные высокие дифференциальные токи (например, переходные токи, протекающие через конденсатор помехоподавления между фазным проводом и проводом PE), могут происходить нежелательные срабатывания УЗО без выдержки времени, если дифференциальный ток превышает расчетный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$  УЗО.

Для таких случаев, когда устранение подобных источников помех невозможно или возможно лишь отчасти, могут применяться УЗО с кратковременной выдержкой срабатывания.

Эти устройства имеют время срабатывания более 10 мс, т. е. они не должны срабатывать при импульсе тока длительностью 10 мс. При этом выдерживаются условия срабатывания согласно DIN VDE 0664 часть 1. Устройства обладают импульсной устойчивостью 3 кА, превосходящей требования DIN VDE 0664. Устройства защитного отключения с кратковременной выдержкой срабатывания обозначаются маркировкой G.

Предельные значения времени отключения УЗО типа G в зависимости от величины тока  $I_{\Delta n}$  приведены в таблице 4.6.

### Нормируемое время отключения УЗО типа G

Номинальный отключающий дифференциальный ток	$I\Delta n$	$2 \cdot I\Delta n$	$5 \cdot I\Delta n$	500 А
Максимальное время отключения, с	0,3	0,15	0,15	0,04
Минимальное время неотключения, с	0,01	0,01	0,01	0,01

УЗО типа S – устройство защитного отключения, селективное (с выдержкой времени отключения).

Селективность УЗО означает, что из последовательно включенных в цепь устройств, срабатывает только то, которое расположено ближе к месту повреждения. Цель селективности – исключение нежелательных отключений последующих УЗО.

Для всех приведенных выше типов УЗО их селективная работа невозможна. Для того чтобы добиться селективности при последовательном включении УЗО, эти устройства должны различаться как по выдержке времени срабатывания, так и по расчетному отключающему дифференциальному току. Для селективных УЗО предусмотрена маркировка S. Стандартные значения допустимого времени отключения и не отключения для УЗО типа S при любом номинальном токе нагрузки свыше 25 А и значениях номинального отключающего дифференциального тока свыше 0,03 А не должны превышать приведенных в таблице 4.7.

Таблица 4.7

### Нормируемое время отключения селективных УЗО типа S

Номинальный отключающий дифференциальный ток	$I\Delta n$	$2 \cdot I\Delta n$	$5 \cdot I\Delta n$	500 А
Максимальное время отключения, с	0,5	0,2	0,15	0,15
Минимальное время неотключения, с	0,13	0,06	0,05	0,04

Из таблиц 4.4–4.7 следует:

– УЗО для общего применения без задержки срабатывания и УЗО типа G имеют одинаковые верхние предельные значения времени отключения. УЗО этих типов должны отключиться не позже 0,3 с после

возникновения отключающего дифференциального тока  $I_{dn}$ , а устройства селективного типа – не позже 0,5 с;

– у УЗО для общего применения отсутствует нижняя граница времени срабатывания;

– УЗО с задержкой срабатывания имеет определенное время не отключения, когда устройство находится в состоянии ожидания. Очевидно, что УЗО с задержкой срабатывания можно использовать для исключения ложных срабатываний под влиянием кратковременных внешних воздействий (перенапряжений, различных помех, коммутаций электроприемников).

К УЗО также предъявляется требование, заключающееся в том, что рабочий диапазон срабатывания устройства должен находиться в пределах от 50–100 % тока  $I_{dn}$ .

Параметр, называемый «устойчивость к импульсному току», определяет наибольшую величину максимального мгновенного значения тока (ударный ток) в рабочих проводниках, при котором УЗО не должно сработать. Например, если у УЗО общего применения без задержки отключения устойчивость к импульсному току составляет 250 А, то в случае наличия ударного тока при коммутации электропотребителя, превышающего указанное значение, может произойти ложное отключение УЗО. Срабатывание произойдет из-за несимметричного расположения проводов в окне суммирующего трансформатора тока. Очевидно, что УЗО с задержкой срабатывания отличается повышенной устойчивостью к ударному току в рабочих проводниках

Для обеспечения селективности двух последовательно включенных в цепь УЗО их графически изображенные время токовые характеристики срабатывания не должны иметь общих точек. Время токовые характеристики УЗО различных типов (G, S и общего применения) представлены на рисунке 4.7. Из рисунка 4.7 видно, что расположение УЗО типа S с указанными на рисунке параметрами ближе к источнику питания обеспечит селективную работу устройств, включенных в радиальную схему сети на участках, расположенных дальше от источника питания.

Для обеспечения селективной работы последовательно включенных в цепь УЗО во всех случаях (независимо от значений дифференциальных токов при повреждениях в сети) требуется выполнение двух условий:

1. УЗО, расположенное ближе к источнику питания, должно быть типа S. При этом достигается селективность по времени.

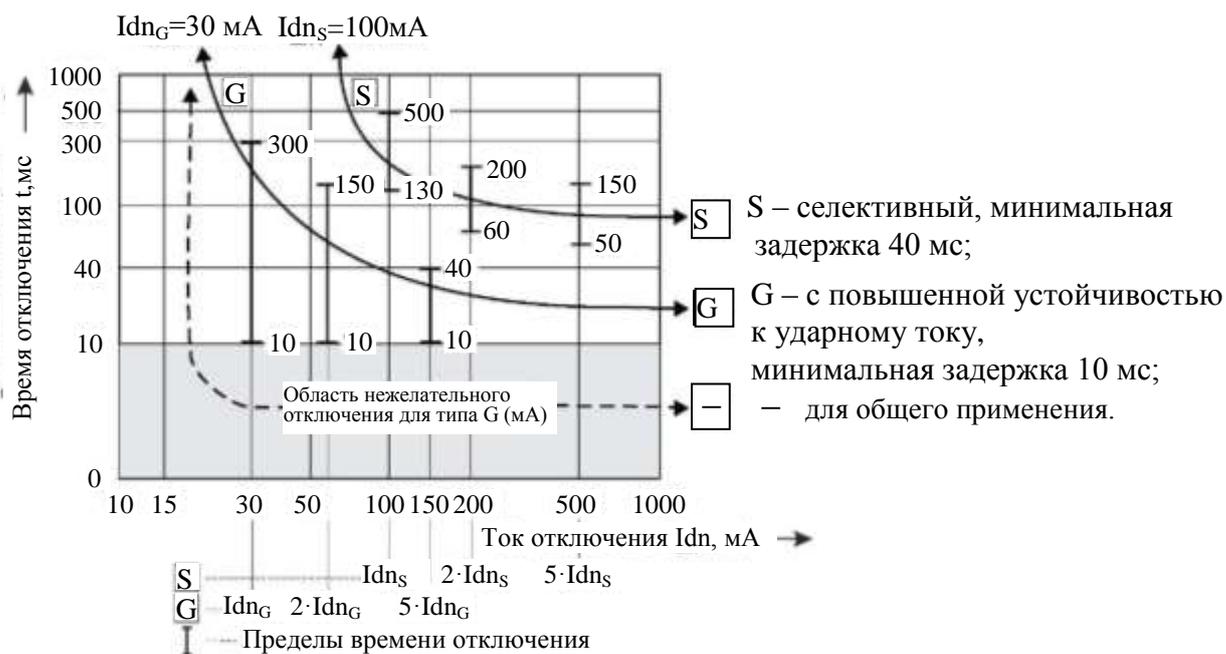


Рис. 4.7. Времятоковые характеристики УЗО типа G, S и общего применения

2. Значение номинального отключающего дифференциального тока УЗО типа S должно быть не менее утроенного значения номинального отключающего дифференциального тока УЗО типа G или общего применения, расположенных дальше от источника питания, т. е.:

$$I_{\Delta n_S} \geq 3 \cdot I_{\Delta n_G}.$$

Необходимо отметить, что УЗО предназначены, прежде всего, для защиты электрических цепей от утечек токов на «землю» и никак не могут быть использованы в качестве «автоматов» – для защиты от коротких замыканий. Более того, УЗО само должно быть обеспечено защитой от сверхтоков и токовых перегрузок.

В настоящее время отечественной и зарубежной промышленностью выпускается целый ряд УЗО различного назначения. Из отечественных фирм потребителям известны ставропольский завод «СИГНАЛ» [4], фирма «АСТРО-УЗО» [5], фирма ОАО «КОНТАКТОР» [11], Интерэлектрокомплект [13]. Кроме того, широко используются УЗО известных зарубежных фирм, таких как Siemens [6], АВВ [7], SchneiderElectric [8], Legrand [9], Hager [10], EKF [12], AEG, Circutor-GEPower и др.

Французский концерн SchneiderElectric предлагает российским покупателям сразу две гаммы устройств данного класса – многофунк-

циональную серию Multi 9 марки MerlinGerin и серию устройств, специально предназначенных для оборудования жилых зданий – «Домовой».

Свое название гамма получила, потому что 9 мм – стандартная ширина дополнительного контакта или половина ширины автоматического выключателя, а приставка «мульти» говорит о большой номенклатуре выпускаемых изделий, устанавливаемых на DIN-рейку.

УЗО серии Multi 9 мгновенного действия (тип ID) на токи 16–125 А предназначены для отключения цепи (вручную и автоматически) в случае повреждения изоляции между фазой и землей, когда ток утечки более или равен 10, 30, 300, 500 мА.

УЗО типа ID мгновенного действия применяются в распределительных сетях административных и промышленных зданий. Отстраивается от кратковременных, неустойчивых, случайных перенапряжений (пробой из-за пыли, коммутационные перенапряжения, грозовые разряды и т. д.) и работы высокочастотного оборудования.

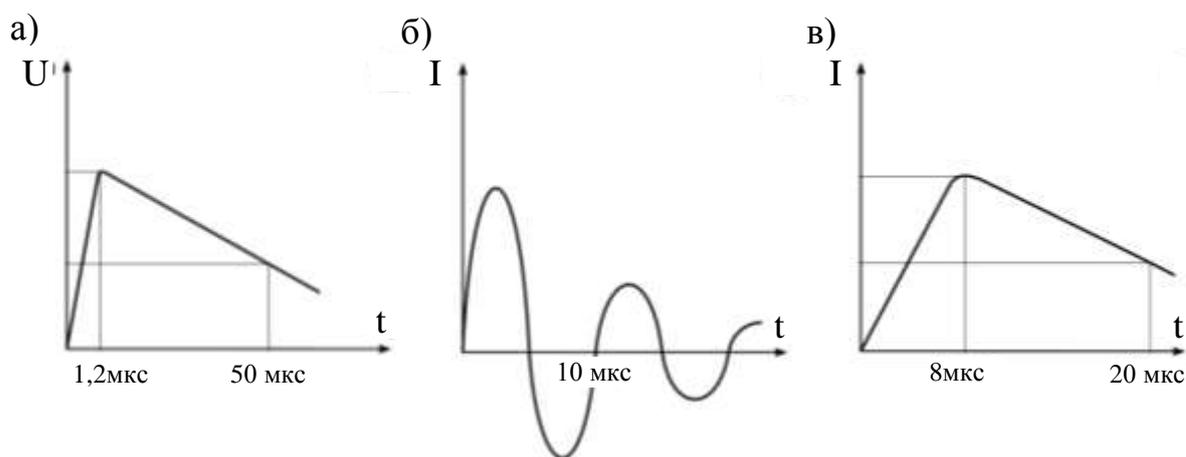
Большинство промышленных электрических установок создают или передают помехи. Кроме того, питающие их воздушные сети, как правило, подвергаются действию атмосферных возмущений, а сами устройства УЗО могут быть чувствительны к грозовым разрядам. В действительности, в зависимости от удаленности источника помех, сеть низкого напряжения может испытывать воздействие:

- перенапряжения, которое возникает между токоведущими проводниками и землей, когда помеха уходит на землю значительно выше устройства УЗО (рис. 4.8, а);

- тока перегрузки, часть которого попадает в сеть ниже УЗО, например, через паразитные емкости (рис. 4.8, б);

- тока перегрузки, определяемого устройством УЗО, возникающего в результате пробоя ниже УЗО (рис. 4.8, в).

В номенклатуре изделий УЗО серии Multi 9, кроме УЗО мгновенного действия (рис. 4.9, а, б), предусмотрены устройства УЗО, устойчивые к указанным выше паразитным токам; это УЗО типа «S» с током отключения ( $I_{\Delta n} \geq 100$  мА). Кроме того, в изделия данной серии входят устройства с высокой чувствительностью и повышенной стойкостью. Это УЗО типа «Si» (рис. 4.9, в) с током отключения ( $I_{\Delta n} \leq 30$  мА) марки MerlinGerin.



*Рис. 4.8. Стандартные волны напряжения и тока, характерные для грозового разряда*

Необходимо отметить, что УЗО типа «S» позволяет выполнить селективную цепь с отходящими линиями с дифференциальными выключателями нагрузки на 10 и 30 мА (рис. 4.9, г).

Применение в сети УЗО типа «S» и «Si» позволяет обеспечить ее устойчивость к воздействию на цепи защиты: токов утечки частотой 50–60 Гц (микрокомпьютеры и другие электронные устройства); переходных токов утечки (подключение цепи с емкостным небалансом); высокочастотных токов утечки (тиристорные выпрямители с фильтрами, имеющими конденсаторы); токов, возникающих в результате грозового разряда. В результате применения данных типов УЗО, минимизируется число случаев ложных срабатываний защищаемых участков сети.

В зависимости от назначения и условий применения УЗО серии Multi 9 комплектуются различного типа вспомогательными электрическими устройствами. Вспомогательные электрические устройства позволяют осуществлять дистанционное отключение и сигнализацию состояния УЗО. Они монтируются с левой стороны от УЗО (рис. 4.10).

УЗО со встроенной максимальной токовой защитой являются комбинацией двух защитных устройств – УЗО и автоматического выключателя (АВ). Обозначения таких устройств, используемые в зарубежной литературе – RSBO (английское обозначение), FI/LS или DI/LS (немецкое обозначение).

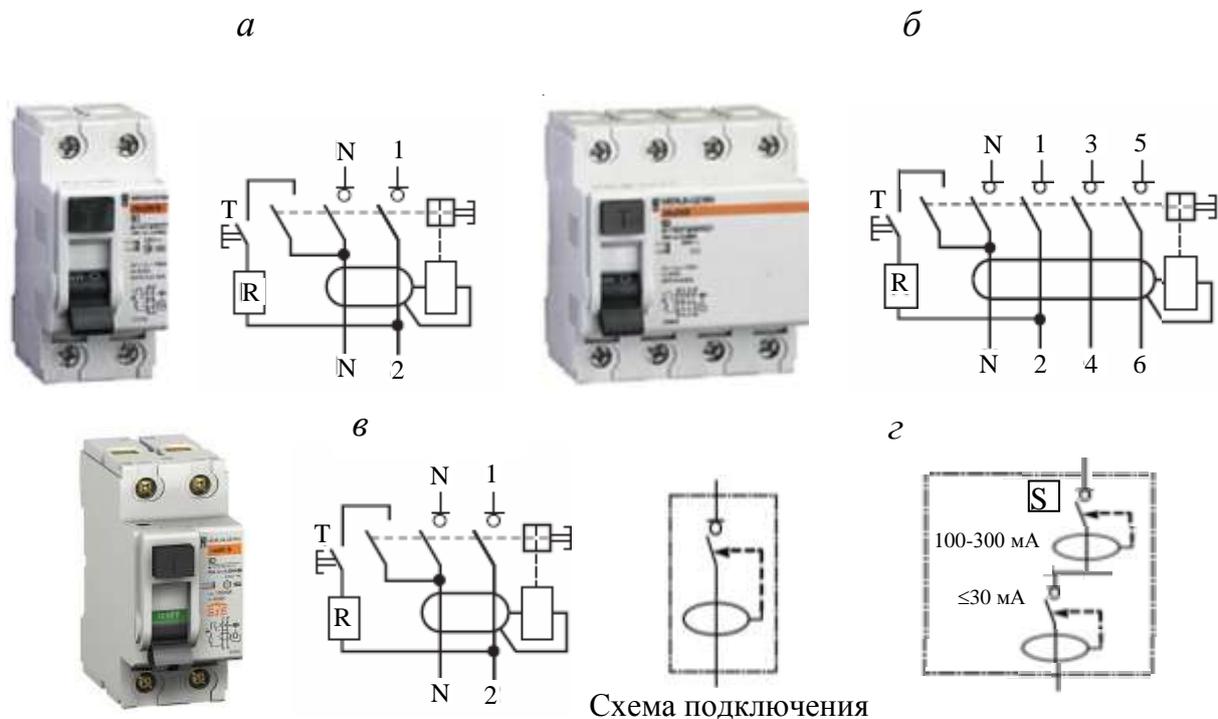


Рис. 4.9. УЗО серии Multi 9 марки Merlin Gerin: а – двухполюсное типа ID; б – четырехполюсное типа ID; в – двухполюсное типа Si; г – схема подключения селективного УЗО типа S



Рис. 4.10. Вспомогательные электрические устройства для УЗО серии Multi 9

Встроенная максимальная токовая защита осуществляет защиту от сверхтоков как контактов УЗО, так и электрической цепи. Механизм отключения встроенного АВ, обеспечивающего защиту от сверхтоков, используется также для отключений, производимых УЗО. Технические данные УЗО представляют собой комбинацию параметров УЗО (номинальный отключающий дифференциальный ток и другие) и АВ (номинальный ток, отключающая способность и т. д.). Характери-

стики отключения встроенного защитного АВ и УЗО ( $I_{dn} = 30 \text{ мА}$ ) представлены на рисунке 4.11.

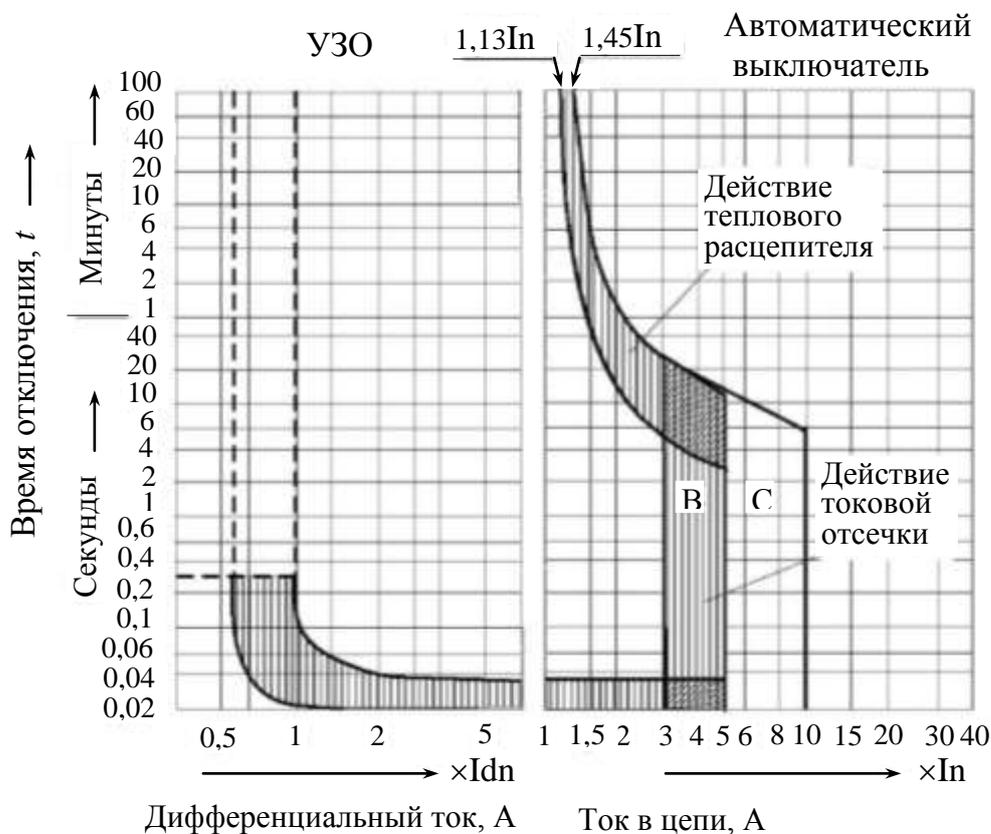
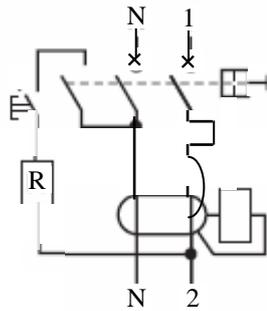


Рис. 4.11. Времятоковые характеристики УЗО ( $I_{dn} = 30 \text{ мА}$ ) со встроенным автоматическим выключателем

Автоматический дифференциальный выключатель-моноблок DPN NVigi серии Multi 9 (рис. 4.12) является комбинацией двух защитных устройств УЗО и АВ позволяет реализовать:

- комплексную защиту цепей от коротких замыканий, перегрузок и повреждений изоляции;
- защиту людей от поражения электрическим током при прямых ( $30 \text{ мА}$ ) контактах с токопроводящими частями;
- защиту электроустановки от риска возникновения пожара;
- селективность защит при каскадном соединении аппаратов на токи утечки  $30 \text{ мА}$  и  $300 \text{ мА}$ .

В Европейском экономическом сообществе в соответствии с европейским стандартом EN 61008-1 на дифференциальные выключатели нагрузки применительно к нормативным документам и технической литературе общеприняты следующие сокращения: ID – Франция, RCCD's – Англия.



Характеристики:

- количество полюсов: 1+N;
- номинальный ток: 6–30 А при 30 °С;
- номинальное напряжение: ~ 230 В;
- ток отключения: 6000 А;
- мгновенное замыкание;

*Рис. 4.12. Дифференциальный автоматический выключатель DPN NVigi ток утечки 30 мА мгновенного действия*

На территории РФ определения, технические требования и методы испытаний на аналогичного рода устройства общего типа содержатся в ГОСТ Р 51326.1-99 (МЭК 61008-1-96). В настоящем стандарте принято сокращенное обозначение АВ, управляемых дифференциальным током бытового и аналогичного назначения без встроенной защиты от сверхтоков – ВДТ.

ВДТ предназначены для защиты людей при косвенном контакте с открытыми проводящими частями электроустановок, соединенными с соответствующим заземляющим устройством электроустановок зданий, и аналогичного применения. Они могут быть использованы для обеспечения защиты от пожаров, возникающих вследствие длительного протекания тока повреждения.

ВДТ, имеющие номинальный отключающий дифференциальный ток не более 30 мА, могут быть также использованы в качестве средства дополнительной защиты в случае отказа защитных устройств, предназначенных для защиты от поражения электрическим током.

Стандарт распространяется на ВДТ с номинальными напряжениями, не превышающими 440 В переменного тока, и номинальными токами, не превышающими 125 А, выполняющие одновременно функцию обнаружения дифференциального тока, сравнения его со значением дифференциального тока срабатывания и отключения защищаемой цепи в случае, когда дифференциальный ток превосходит это значение.

В отличие от ВДТ, управляемый дифференциальным током АВ, предназначенный для выполнения функций защиты от сверхтоков, определен в 3.3.3. ГОСТ Р 51326.1-99 как автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током, со встроенной защитой от сверхтоков (АВДТ).

Отечественной промышленностью под торговой маркой ИЭК [13] (ИЭК – производитель «ИНТЕРЭЛЕКТРОКОМПЛЕКТ») выпускаются: выключатели дифференциальные ВД1-63; дифференциальные автоматы АД12, АД14, АД12М; автоматические выключатели дифференциального тока серии АВДТ-32.

Выключатель дифференциальный ВД1-63 (рис. 4.13) предназначен для защиты человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждениях изоляции (уставка – 10 мА, 30 мА, 100 мА). Единственная защита от поражения электрическим током при прямом однофазном прикосновении к токоведущим частям электроустановки. ВД1-63 с уставкой срабатывания 300 мА и 500 мА предназначены для предотвращения возгорания и пожаров вследствие протекания токов утечки на землю.

При использовании ВД1-63 необходимо последовательно с ним включать автоматический выключатель ВА 47-29 или ВА 47-100 (аналогичного или меньшего номинала), так как функционально ВД1-63 не предусматривает защиты от сверхтока короткого замыкания и перегрузки.

Преимущества:

- электромеханическая схема без электронных компонентов;
- наиболее надежная защита человека при прямом прикосновении к токоведущим частям;
- независимый индикатор положения контактов;
- не имеет собственного потребления электроэнергии и сохраняет работоспособность при обрыве нулевого проводника;
- модульное исполнение экономит пространство в распределительном щите и значительно облегчает процедуру монтажа;
- тестирующая цепь сохраняет работоспособность в широком диапазоне напряжений от 110 до 265 В (двухполюсный), от 200 до 460 В (четырёхполюсный);
- насечки на контактных зажимах снижают тепловые потери и увеличивают механическую устойчивость соединения;
- высокая механическая износостойкость;
- варианты исполнения на восемь номинальных токов;
- широкий диапазон рабочих температур от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

В таблице 4.8 приведены технические характеристики ВД1-63.

Дифференциальный автомат АД-12/14 – быстродействующий защитный выключатель. Благодаря высокому быстродействию, дифференциальные автоматы с уставкой срабатывания 10 мА и 30 мА

обеспечивают эффективную защиту человека от поражения электрическим током в случае его прикосновения к токоведущим частям или к элементам электрооборудования, оказавшегося под напряжением в результате повреждения изоляции токоведущих частей (рис. 4.14).



Рис. 4.13.  
Выключатель  
дифференциального тока



Рис. 4.14.  
Автоматический выключатель  
дифференциального тока

Таблица 4.8

### Технические характеристики ВД1-63

Показатель	Значение
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51326.1-99, ТУ 3421-033-18461115-02
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток $I_n$ , А	16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{Dn}$ , мА	10, 30, 100, 300, 500
Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания $I_{Dc}$ , А	3000
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	АС
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	$\leq 40$
Число полюсов	2, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Электрическая износостойкость, циклов В–О, не менее	4000
Механическая износостойкость, циклов В–О, не менее	10000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм <sup>2</sup>	35

Кроме того, АД-12/14 обеспечивают эффективную защиту электрооборудования от сверхтока (короткого замыкания и перегрузки). В ряде исполнений АД-12 и АД-14 предусмотрена защита от импульсных перенапряжений в сети.

Конструкция АД-12/14 представляет собой соединение двух функциональных узлов: электронный модуль дифференциальной защиты и автоматический выключатель. Электронный модуль состоит из дифференциального трансформатора тока, электронного усилителя с пороговым устройством, исполнительного электромагнита сброса и источника питания.

При установке рукоятки управления автоматического выключателя в положение «ВКЛ» на электронный модуль поступает напряжение питания. В нормальном режиме работы, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора равен нулю.

При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприемника, на который произошел пробой изоляции, по фазному проводнику, кроме тока нагрузки, протекает дополнительный ток – ток утечки, являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным).

Если этот ток превышает значение уставки порогового устройства, последнее подает ток от источника питания на катушку электромагнита сброса, который сдергивает защелку механизма независимого расцепления АВ и электрическая цепь размыкается.

При этом кнопка «Возврат» выступает из лицевой панели.

Для повторного включения необходимо нажать эту кнопку до фиксации и взвести рукоятку АВ.

Для осуществления периодического контроля исправности АД-12/14 в электронный модуль встроена цепь тестирования. При нажатии кнопки «Тест» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Немедленное срабатывание АД означает исправность всех его элементов.

Монтаж АД-12/14 производят на 35 мм монтажную DIN-рейку.

Преимущества:

- четыре вида защит: от перегрузки, короткого замыкания, дифференциального тока и импульсных (грозовых перенапряжений);
- высокое быстродействие;
- индикация срабатывания от дифференциального тока;
- свыше 40 типоразмеров;
- широкий диапазон рабочих температур от  $-25^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

### Особенности конструкции:



– наплавка из серебросодержащего композита повышает износостойкость контактной группы и снижает переходное сопротивление;



– тест для проверки работоспособности устройства и правильности подключения;



– кнопка ВОЗВРАТ для индикации срабатывания от дифференциального тока;



– возможность простой самостоятельной установки контактов состояния КС47 и КСВ47;



– увеличенный размер головки винта с универсальным шлицом (+, -) облегчает монтаж и предотвращает выпадение винтов при установке.

В таблице 4.9 приведены технические характеристики АД-12/14.

Таблица 4.9

### Технические характеристики АД-12/14

Показатель	Значение
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51327.1-99, ТУ 99 АГИЕ.641243.039
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток $I_n$ , А	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ , mA	10, 30, 100, 300
Номинальная отключающая способность, А	4500
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	АС
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	$\leq 40$
Число полюсов	2, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Износостойкость, циклов В–О, не менее	10000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм <sup>2</sup>	Вход – 25; выход – 16/25*

\* Размер для устройств с номинальными токами свыше 40А.

Автоматические выключатели дифференциального тока АВДТ-32 (рис. 4.15) предназначены для защиты человека от поражения электрическим током при повреждении изоляции электроустановок, для предотвращения пожаров вследствие протекания токов утечки на землю и для защиты от перегрузки и короткого замыкания. Рекомендуются для защиты групповых линий, питающих розетки наружной установки, розеток и освещения подвалов и гаражей.



Рис. 4.15. АВДТ-32

Преимущества:

- комбинированная схема с электронным модулем дифференциальной защиты и встроенным выключателем серии ВА47-29;
- наиболее надежная защита человека при прямом прикосновении к токоведущим частям;
- независимый индикатор положения контактов;
- широкий диапазон рабочих температур от  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- насечки на контактных зажимах снижают тепловые потери и увеличивают механическую устойчивость соединения;
- наличие кнопки «Тест» для проверки работоспособности устройства и правильности подключения;
- габариты АВДТ соответствуют 2-модульному исполнению за счет размещения элементов конструкции.

Особенности конструкции:



- индикатор состояния главной цепи предоставляет точную информацию о состоянии контактов независимо от положения рукоятки;



– комбинированная схема с электронным модулем дифференциальной защиты, варистором класса D и встроенным выключателем серии ВА47-29 обеспечивает 4 вида защиты: от дифференциального тока (тока утечки); от короткого замыкания; от перегрузки; от импульсных (грозовых перенапряжений);



– наплавка из серебросодержащего композита повышает износостойкость контактной группы и снижает переходное сопротивление;



– тест для проверки работоспособности устройства и правильности подключения.

В таблице 4.10 приведены технические характеристики АВДТ-32.

Таблица 4.10

### Технические характеристики АВДТ-32

Показатель	Значение
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51327.1-99, ТУ 99 АГИЕ.641243.039
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230
Номинальный ток $I_n$ , А	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	B, C
Число полюсов	1+N
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta n}$ , мА	10, 30, 100
Номинальная отключающая способность, А	6000
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	АС
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	$\leq 40$
Износостойкость, циклов В–О, не менее	10000
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP 20
Мощность рассеивания, Вт не более	6,5
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм <sup>2</sup>	Вход – 25; выход – 16/25*

\* Размер для устройств с номинальными токами свыше 40 А.

Некоторые виды УЗО отечественных производителей и их параметры представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11

### Сравнение некоторых отечественных УЗО

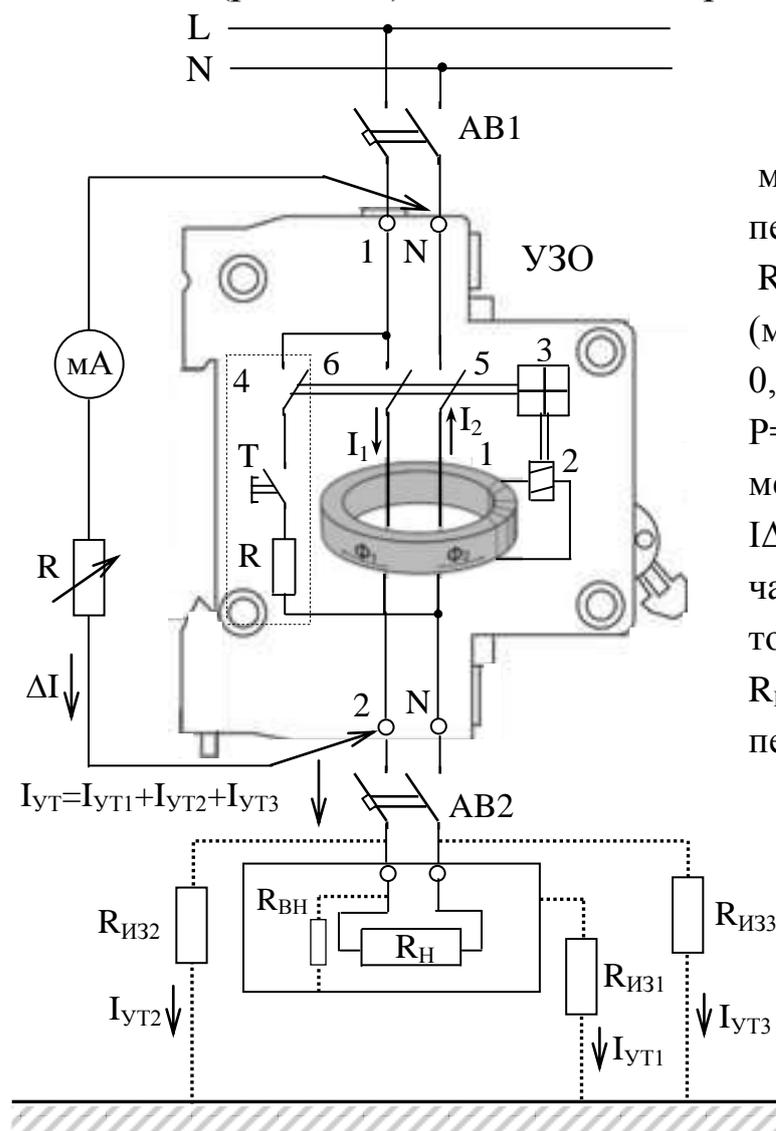
Параметр	Тип устройства защитного отключения			
	УЗО-22	ВАД-11	Д-АС	Астро* УЗО
Номинальное напряжение, В	220		220/380	
Частота, Гц	50	50; 60	50	50
Номинальный ток нагрузки, А	6,3; 10; 16; 25; 32; 40	6; 40	6; 10; 16; 25; 32	16; 25; 40; 63
Номинальное значение дифференциального отключающего тока, мА	10; 30	10; 30; 100	10, 30, 100, 300	
Максимальное время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	40	10	40	30
Рабочая температура, °С	От –10 до +40	От –5 до +40	От –5 до +40	От –20 до +45
Зависимость от колебаний напряжения сети	Не зависит			
Потребность в источнике питания	Требуется		Не требуется	
Тип расцепителя	Электронно-магнитный		Электромеханический	

\* Для 4-полюсных УЗО.

Рекомендуется ежемесячно проверять работоспособность УЗО. Наиболее простой способ проверки – нажатие кнопки «тест». Если УЗО исправно и подключено к электрической сети, то оно при нажатии кнопки «тест» должно сразу же сработать (т. е. отключить нагрузку). Если после нажатия кнопки нагрузка осталась под напряжением, то УЗО неисправно и должно быть заменено.

Тест нажатием кнопки не является полной проверкой УЗО. Оно может срабатывать от кнопки, но не пройти полный лабораторный тест, включающий измерение отключающего дифференциального тока и времени срабатывания. Поэтому более надежной проверкой является имитация утечки непосредственно в цепи, которая является нагрузкой УЗО.

С этой целью, для проведения проверки, как правило, применяют тестовые схемы (рис. 4.16) или специализированные приборы.



mA – миллиамперметр  
 переменного тока (0–300 mA);  
 R – переменный резистор  
 (магазин сопротивлений) от  
 0,75 до 43 кОм;  
 $P = I \Delta n^2 \cdot R_{\text{MAX}}$  – мощность пере-  
 менного резистора;  
 $I \Delta n$  – номинальный отклю-  
 чающий дифференциальный  
 ток испытуемого УЗО;  
 $R_{\text{MAX}}$  – максимальное значение  
 переменного резистора.

Рис. 4.16. Схема измерения

Определение порога срабатывания (дифференциального отключающего тока  $I \Delta n$ ) УЗО:

1. Отключить от установленного в электроустановке УЗО цепь нагрузки  $R_H$  с помощью двухполюсного автоматического выключателя АВ2 (рис. 4.16). В том случае, если в электроустановке применен однополюсный автоматический выключатель, при выполнении данного измерения для достижения необходимой точности необходимо отсоединить и нулевой рабочий проводник.

2. С помощью гибких проводников подключить к указанным на схеме клеммам (2, N) УЗО измерительную цепь с переменным резистором R и миллиамперметром – mA. Переменный резистор первоначально должен находиться в положении максимального сопротивления.

3. Плавно снижать сопротивление резистора.

4. Зафиксировать показание миллиамперметра в момент срабатывания УЗО.

5. Зафиксированное значение тока является отключающим дифференциальным током  $I_{\Delta}$  данного экземпляра УЗО, которое согласно требованиям стандартов должно находиться в диапазоне  $0,5-1 I_{\Delta n}$ .

В том случае, если значение  $I_{\Delta}$  выходит за границы данного диапазона, УЗО подлежит замене.

УЗО должно соответствовать требованиям подключения. Особое внимание следует обращать при использовании проводов и кабелей с алюминиевыми жилами (многие импортные УЗО допускают подключение только медных проводов).

При установке УЗО последовательно должны выполняться требования селективности. При двух- и многоступенчатой схемах УЗО, расположенное ближе к источнику питания, должно иметь уставку и время срабатывания не менее чем в три раза большее, чем у УЗО, расположенного ближе к потребителю. В зоне действия УЗО нулевой рабочий проводник не должен иметь соединений с заземленными элементами и нулевым защитным проводником.

Чтобы безопасность была гарантированной даже при значительной величине тока, установлены нормы по времени срабатывания УЗО. Время не должно превышать  $0,3$  с; обычно оно меньше  $0,1$  с.

Схему подключения УЗО поясняет рисунок 4.17. В качестве УЗО здесь используется дифференциальный автоматический выключатель, установленный на входе линии питания. Для нормального функционирования УЗО необходимо обеспечить формирование дифференциального тока при возникновении утечки тока на землю.

Дифференциальный ток появится только в случае утечки через заземленный проводник, не подключенный к УЗО. Поскольку нейтраль N проходит через УЗО, необходимо до места подключения УЗО разделить проводник PEN на проводники N и PE (точка 1 на рис. 4.17). При этом проводник PE должен быть подключен к электрооборудованию непосредственно. Не допускается его размыкание или исполнение в виде временного проводника.

В свою очередь, использование системы TN-C-S подразумевает заземление металлических корпусов электрооборудования и подключение розеток трехпроводными проводами. Схема, поясняющая подключение УЗО для двухпроводной сети, показана на рисунке 4.18.

УЗО в этом случае должно осуществлять защиту максимального числа линий и оборудования.

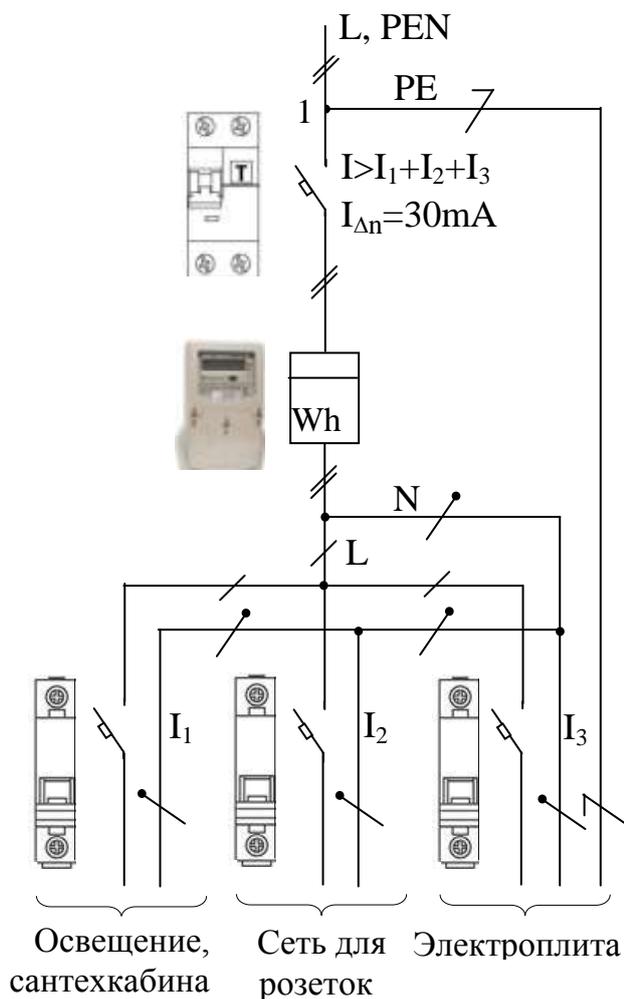


Рис. 4.17. Схема электроснабжения в двухпроводной сети при отсутствии защитного проводника PE в розеточной цепи и цепи освещения

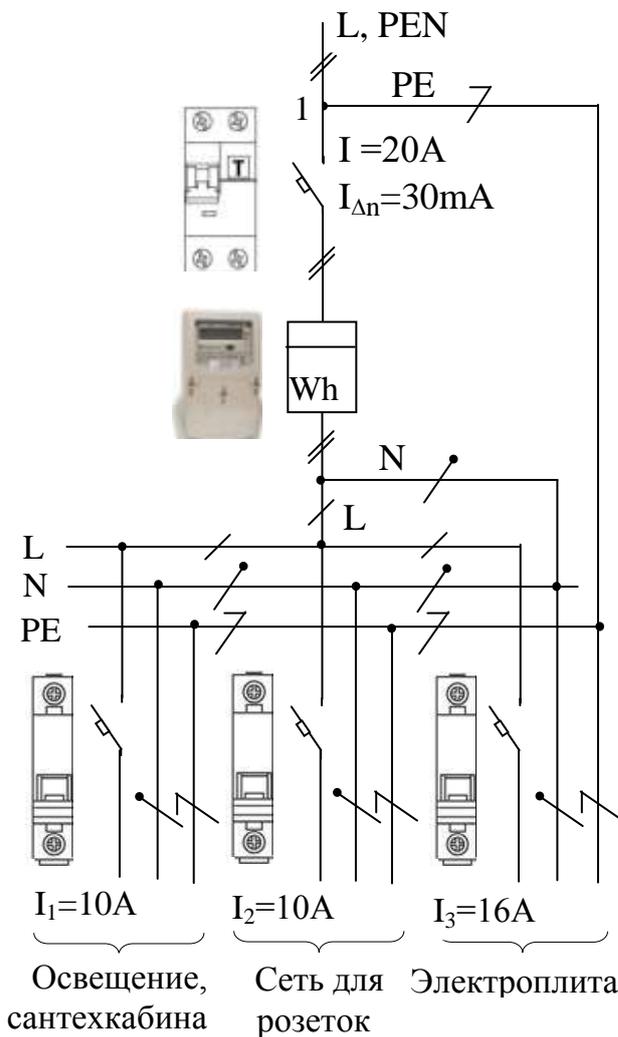


Рис. 4.18. Схема электроснабжения в двухпроводной сети с системой заземления TN-C-S

На рисунках 4.19 и 4.20 приведены примеры схем электроснабжения квартир повышенной комфортности.

В схеме, приведенной на рисунке 4.21, на вводной линии установлен дифференциальный автоматический выключатель с током срабатывания 300 мА.

Этот дифференциальный автомат обеспечивает защиту электропроводки и оборудования при возникновении утечки на корпус, а также повышает пожарную безопасность цепи электропитания квартиры. Кроме того, он обеспечивает некоторую задержку отключения. Из двухпроводной линии формируется система TN-C-S. Для непосредственной защиты людей в групповые цепи питания потребителей ус-

тановлены дополнительные дифференциальные автоматические выключатели. В цепи питания розеток и стационарного электрооборудования включены устройства с дифференциальным током срабатывания 30 мА, а для помещений с повышенной опасностью используется более чувствительное устройство с током срабатывания 10 мА.

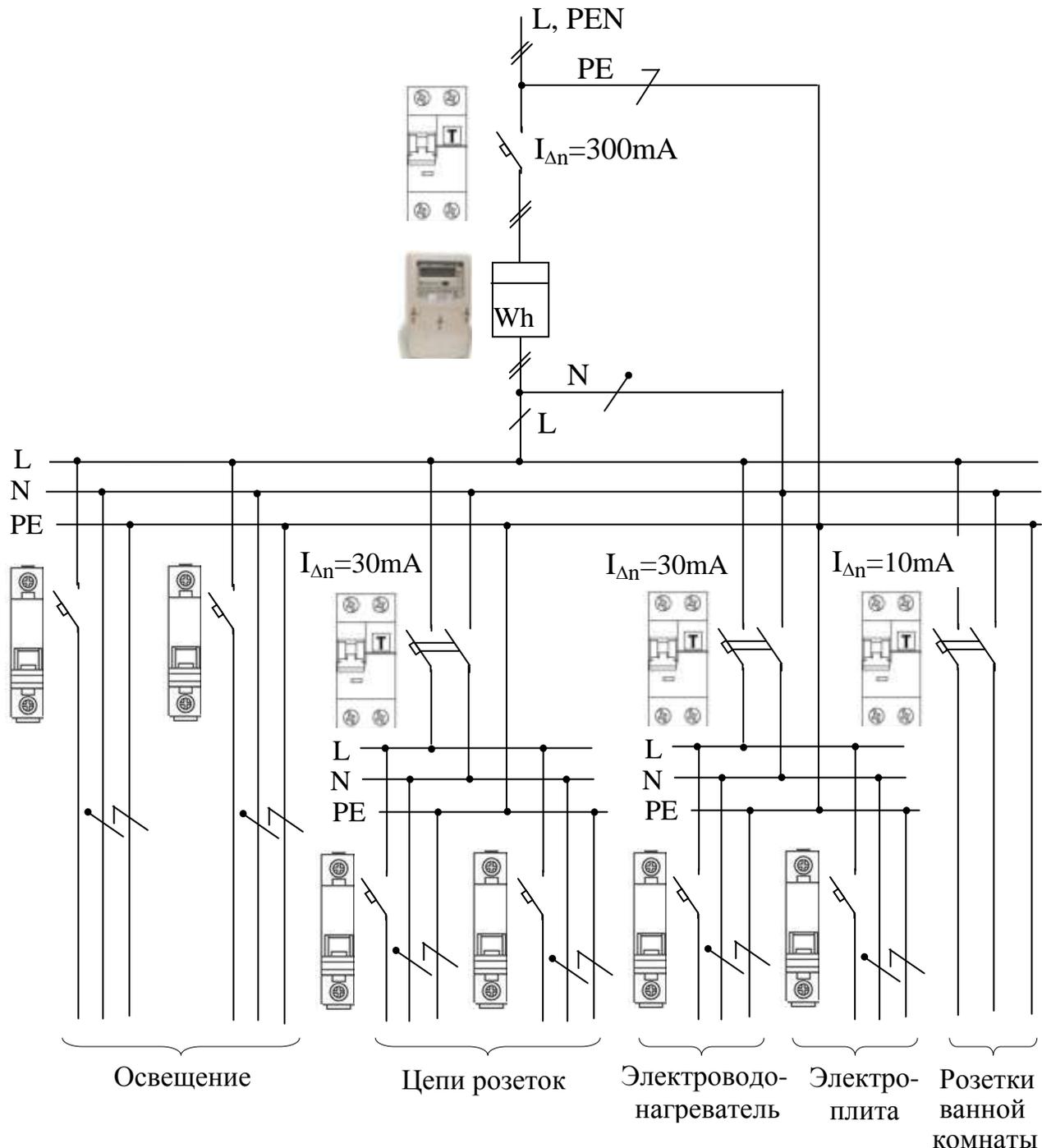


Рис. 4.19. Схема электроснабжения квартиры повышенной комфортности

На рисунке 4.20 приведена схема электроснабжения квартиры повышенной комфортности с трехфазным вводом.

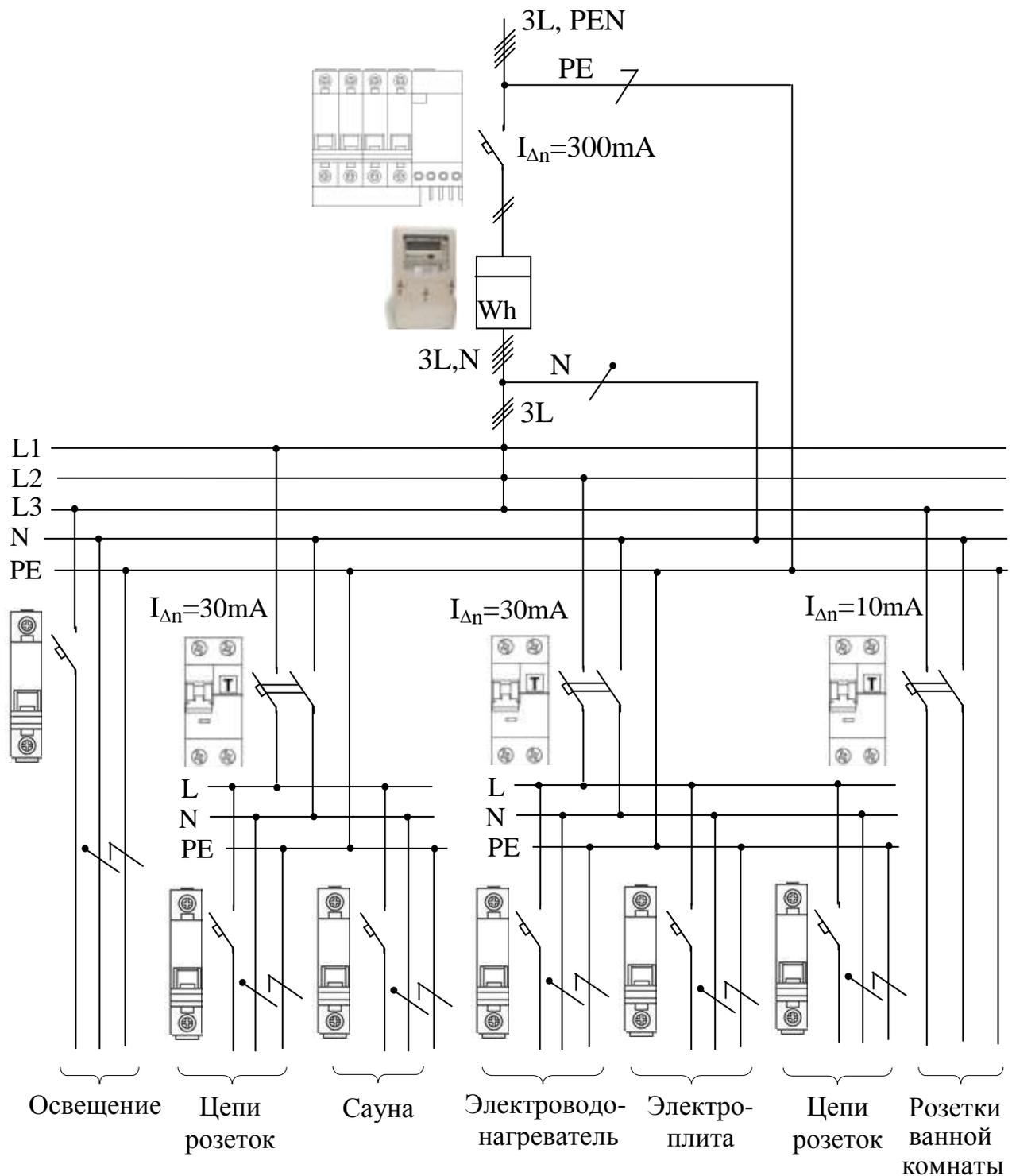


Рис. 4.20. Схема электроснабжения квартиры повышенной комфортности

На вводе установлен четырехполюсный дифференциальный автоматический выключатель с током отключения 300 мА и временной задержкой отключения. Для учета расхода электроэнергии используется трехфазный электросчетчик. Потребители электроэнергии подключаются ко всем трем фазам с учетом оптимальной нагрузки на все линии.

Применительно к схемам электроснабжения, изображенным на рисунках 4.19 и 4.20, действуют общие для таких случаев правила: при объединении групповых линий для защиты одним УЗО следует учитывать возможность их одновременного отключения; кроме того, в многоступенчатых схемах необходимо выполнять условия селективности, то есть функции отключения с задержкой.

На современных объектах индивидуального строительства (коттеджи, дачные, садовые дома и т. д.) требуется применение повышенных мер электробезопасности. Это связано с высокой энергонасыщенностью, разветвленностью электрических сетей и спецификой эксплуатации как самих объектов, так и электрооборудования. При выборе схемы электроснабжения типа УЗО и распределительных щитков следует обратить внимание на необходимость использования ограничителей перенапряжений (грозовых разрядников), которые следует устанавливать до УЗО (рис. 4.19).

В индивидуальных домах рекомендуется использовать УЗО с номинальным током, не превышающим 30 мА, – для групповых линий, питающих ванные комнаты, душевые и сауны, а также штепсельные розетки (внутри дома, в подвалах, встроенных и пристроенных гаражах). Для линий, обеспечивающих наружную установку штепсельных розеток, применение УЗО с номинальным током, не превышающим 30 мА, обязательно.

### **Порядок выполнения работы**

1. Используя УЗО, размещенные на лабораторном стенде и выданные для ознакомления преподавателем, изучите их конструкцию (рис. 4.6).

2. Изучите схемы включения УЗО (рис. 4.17– 4.21).

3. Изучите методику выбора УЗО, а также поверки (рис. 4.16) и расчет тока уставки.

4. Изучите принципиальную электрическую схему электроснабжения объекта с системой TN-C-S (рис. 4.22).

**Прежде чем собирать схему, убедитесь в том, что отключены автоматический выключатель, питающий стенд и УЗО. Убедитесь в целостности лабораторного оборудования и соединительных проводов.**

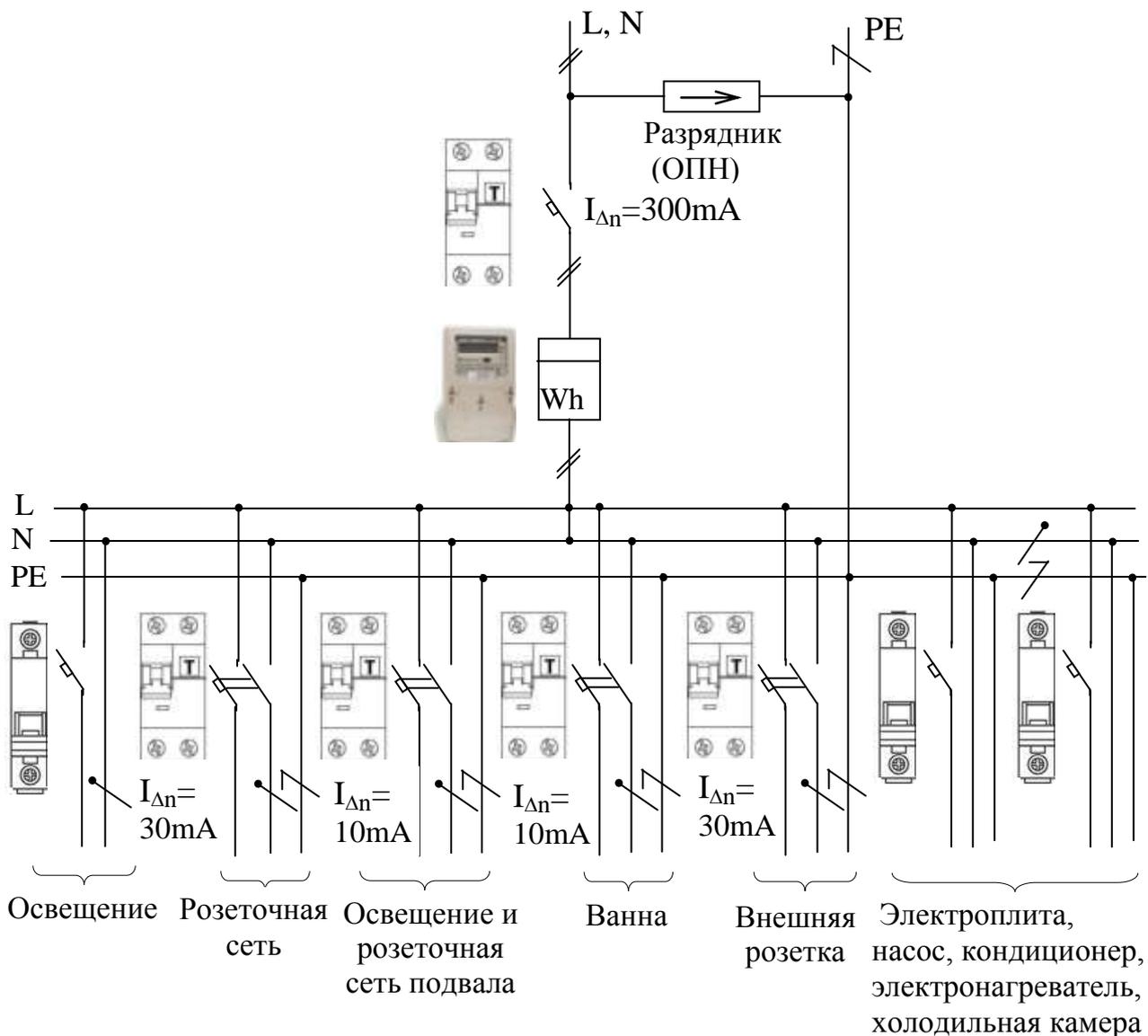


Рис. 4.21. Схема электроснабжения коттеджа с системой заземления TN-C-S

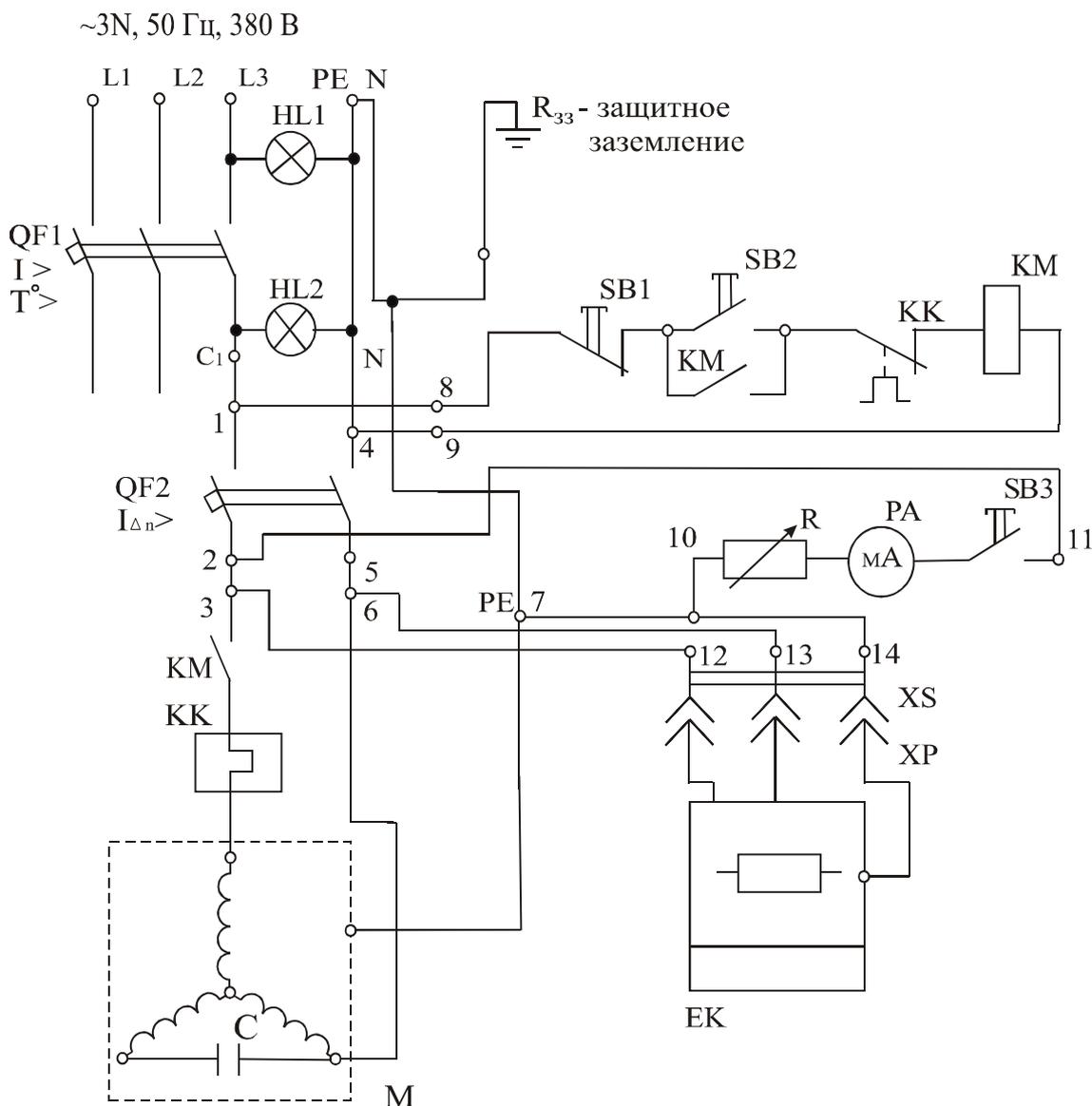
5. Монтажными проводами произведите коммутацию между соответствующими клеммами блока зажимов на лабораторном стенде согласно рис. 4.22.

6. После проверки преподавателем схемы, осуществите подачу напряжения на электродвигатель (путем нажатия кнопки «Пуск» SB2) и электронагреватель (соедините вилку XP и розетку XS).

**Во избежание поражения электрическим током касаться руками клемм, других токоведущих деталей категорически запрещается.**

**При возникновении аварийных ситуаций: гудении электродвигателя, появлении запаха дыма и возникновении прочих аварийных режимов – немедленно отключите автоматический вы-**

**ключатель QF1 и сообщите о неисправности лаборанту или преподавателю.**



*Рис. 4.22. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда «Электроснабжение объекта с системой TN-C-S»*

7. По вышеизложенным методикам проведите измерение порога срабатывания УЗО и тока утечки в зоне защиты УЗО.

**После успешных измерений – отключите автоматический выключатель QF1. Результаты измерений покажите преподавателю и с его согласия демонтируйте соединительные провода. Сдайте провода лаборанту.**

## Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Основные характеристики и параметры УЗО.
3. Схемы включения УЗО для защиты электроустановок зданий.

## Контрольные вопросы

1. Каково назначение УЗО?
2. Объясните принцип действия электронных УЗО.
3. Расскажите, как устроено электромеханическое УЗО?
4. Объясните по принципиальной схеме работу УЗО.
5. Укажите основные характеристики УЗО.
6. Опишите принцип выбора уставок УЗО.
7. Как определить порог срабатывания УЗО?
8. От каких аварийных режимов работы электрооборудования и сети защищает УЗО?
9. Как УЗО предотвращает пожары от электроустановок зданий?
10. Как обеспечить селективность работы нескольких последовательно включенных УЗО?

## Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 464 с.
2. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. для вузов / И.Р. Владыкин, А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева [и др.]. – М.: КолосС, 2007.
3. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие: в 2 кн. Кн. 2 / А.Г. Черных, А.Д. Епифанов, И.В. Алтухов. – Иркутск: Иркутск. гос. сельхоз. акад., 2013. – 235 с.
4. ОАО «СИГРАЛ» [Официальный сайт] URL: <http://www.signalrp.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
5. ОАО «Астро-УЗО» [Официальный сайт] URL: <http://www.uzo.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
6. Siemens – Электротехническая продукция [Официальный сайт] URL: <http://electrosiemens.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
7. Компания АВВ [Официальный сайт] URL: <http://www.abb.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

8. Компания Schneider-electric [Официальный сайт] URL: <http://www.schneider-electric.com/ru/ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

9. Компания Legrand [Официальный сайт] URL: <http://www.legrand-russia.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

10. Компания Hager [Официальный сайт] URL: <http://www.hager-systems.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

11. ОАО «Контактор» – Ульяновск [Официальный сайт] URL: <http://www.kontaktor.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

12. EKF electrotechnica [Официальный сайт] URL: <http://ekfgroup.com/produktsiya> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

13. ИЭК – Интерэлектрокомплект [Официальный сайт] URL: <http://www.iek.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

## Лабораторная работа 5

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА И СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ

#### Цель работы

Ознакомиться с конструкцией и принципом действия магнитных пускателей.

Изучить схемы включения нереверсивного и реверсивного магнитных пускателей.

Получить практические навыки монтажа схем управления трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью магнитных пускателей.

#### Задание к работе

1. Изучить конструкцию магнитных пускателей серий ПМЕ, ПА, ПМЛ.

2. Изучить схемы управления трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью нереверсивных и реверсивных магнитных пускателей.

3. Произвести монтаж схем включения нереверсивного и реверсивного магнитных пускателей.

4. Осуществить управление трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью нереверсивного и реверсивного магнитных пускателей.

#### Общие сведения

Пускатель (МЭС 441-14-38) – комбинация всех коммутационных устройств, необходимых для пуска и остановки двигателя, с защитой от перегрузки [1–5].

Электромагнитный пускатель (магнитный пускатель) – пускатель, у которого сила, необходимая для замыкания главных контактов, обеспечивается электромагнитом.

Магнитный пускатель (МП) – самый распространенный электрический аппарат для пуска электрических двигателей. Его основные достоинства: дистанционное управление пусками, простота схем, защита от снижения напряжения и перегрузки, приемлемые массогабаритные параметры, которые можно назвать внешними свойствами, поскольку они в определенной мере влияют на качество всей системы.

Внешние свойства МП постоянно совершенствуются (к примеру, в России недавно была запатентована схема МП с защитой от обрыва фазы сети). Крупные производители, представляющие эту продукцию в России: ОАО «Кашинский завод электроаппаратуры» [6], ООО «Уралэлектроконтактор», ОАО «Новосибирский завод низковольтной аппаратуры», ОАО «Чебоксарский электроаппаратный завод» (Россия) [7], EKFelectrotechnica (Россия) [8], SchneiderElectric (Франция) [9], GeneralElectric (США) [10], Moeller (Германия) [11], ABB (Германия) [12], Siemens (Германия) [13], Legrand (Франция) [14], ChintGroupCo (Китай) и др. [15–18].

Магнитные пускатели выбирают в зависимости от условий окружающей среды и схемы управления по [6]:

- номинальному напряжению;
- номинальному току;
- току нагревательного элемента теплового реле;
- напряжению втягивающей катушки.

$$U_{\text{мп}} \geq U_{\text{н уст}}; \quad (5.1)$$

$$I_{\text{мп}} \geq I_{\text{н уст}}; \quad (5.2)$$

где  $U_{\text{мп}}$ ,  $I_{\text{мп}}$  – соответственно номинальные значения напряжения (В) и тока (А) магнитного пускателя;

$U_{\text{н уст}}$ ,  $I_{\text{н уст}}$  – соответственно номинальные значения напряжения (В) и тока (А) электроустановки.

Тепловые реле проверяют на соответствие их номинального тока  $I_{\text{тр н}}$ , номинального тока нагревательного элемента  $I_{\text{нэ}}$ , верхнего  $I_{\text{уст max}}$  и нижнего  $I_{\text{уст min}}$  пределов регулирования тока уставки и выставленного тока уставки  $I_{\text{уст р}}$  номинальному току двигателя  $I_{\text{н дв}}$ :

$$I_{\text{тр н}} \geq I_{\text{нэ}} \geq I_{\text{н дв}}; \quad (5.3)$$

$$I_{\text{уст max}} \geq I_{\text{н дв}} \geq I_{\text{уст min}}; \quad (5.4)$$

$$I_{\text{уст р}} = I_{\text{н дв}}. \quad (5.5)$$

Для электродвигателей с малым коэффициентом загрузки и рабочим током  $I_{р\ дв}$  в целях повышения надежности защиты используют соотношение:

$$1,1 I_{р\ дв} \leq I_{уст\ р} \leq I_{н\ дв}. \quad (5.6)$$

Номинальный фазный ток электродвигателя  $I_{н\ дв}$  или по принятым в электрических машинах условным обозначениям –  $I_{1\ ном\ ф}$  определяют по формуле:

$$I_{1\ ном\ ф} = \frac{P_{2\ ном} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{1\ л} \cdot \eta \cdot \cos \varphi}, \quad (5.7)$$

где  $P_{2\ ном}$  – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{1\ л}$  – номинальное линейное напряжение, В;

$\eta$  – коэффициент полезного действия, о.е.;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности, о.е.

Наиболее общим и распространенным требованием, которое предъявляет потребитель при выборе МП, является величина коммутлируемого тока, и по этому параметру МП указанных выше производителей можно разделить на несколько групп:

1) МП с токами (речь идет о предельных значениях токов) до 100 А, и сюда относятся МП серии ПМЛ на токи 10–80 А, серии ПМУ на токи 9–95 А;

2) МП с токами до 400 А, представителями которой являются МП серии ПМА на токи 40–160 А, серии ПМ12 на токи 10–250 А (Россия) и зарубежные магнитные пускатели ChintGroupCo серии NC1 и NC3 на токи 9–370 А;

3) МП с токами до 1000 А, представителями которой являются МП фирмы Moeller серии DIL на токи 20–855 А;

4) МП с токами выше 1000 А, к которым относятся МП GE Power Controls серии CL и СК на токи 25–1250 А и МП ЧЭАЗ-Benedikt на токи 10–1200 А.

Помимо прочего, для коммутации токов от 100 А до 1000 А российские производители предлагают контакторы серии КТ-6000, МК6 и вакуумные контакторы серии КВ1 и КТ12 для общепромышленного использования. В таблице 5.1 представлены показатели МП первой группы, как наиболее массовой.

Для приведенных на рисунке 5.1 МП, относящихся к 1, 2, 3 и 4 группам, соответствующие им показатели представлены в таблице 1.



*Рис. 5.1. Магнитные пускатели 1–4 группы отечественных и импортных производителей*

Анализ характеристик (см. табл. 5.1) показывает, что все МП имеют практически совпадающие параметры (отличия незначительны). При этом, как правило, при выборе МП ориентируются на два основополагающих показателя: режим работы и мощность нагрузки. Однако при жестких ограничениях на размеры, предпочтение следует отдать МП № 7 и № 5, габариты которых почти в полтора раза меньше, чем у остальных, при прочих равных параметрах.

По мощности, потребляемой катушками при включении, наиболее экономичным является МП № 6, при этом экономия составляет от 13 до 30 %. По общему ресурсу работы предпочтение следует отдать МП № 1, 2, 3, 6. По ориентировочной стоимости лидируют МП № 1 и № 2, так как стоимость остальных МП существенно выше.

Необходимо отметить, что на практике, особенно при использовании МП в системах АСУ, предпочтение отдается импортным аппаратам, т.к. их вспомогательные контакты обеспечивают так называемый «сухой контакт», используемый в устройствах микропроцессорной техники.

Помимо этого, к несомненным преимуществам импортных МП следует отнести:

– исполнение МП с катушками постоянного тока (исключение составляет ОАО «ВНИИР», которое поставляет пускатели ПМ12 с катушками постоянного тока);

## Технические характеристики магнитных пускателей

Номер МП	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Номенклатура МП	ПМ12–025	ПМЛ–2000А	ПМУ25	NC1–25	DILOAM	CLO3A	КЗ–24А00
Ток, А	25	25	25	25	22,5	25	24
Мощность двигателя, кВт	–	11	11	11	11	11	11
Мощность, потребляемая катушками при включении, ВА	74–100	74–100	90	110	100	88	90–115
Мощность, потребляемая катушками при удержании, ВА	6,1–8,9	6,2–9	7,5	11	10	9	9–13
Механическая износостойкость, частота включений в час	3600	3600	3600	3600	9000	9000	7000
Общий ресурс, млн. циклов	20	16	16	10	10	15	10
Коммутационная износостойкость, частота включений в час	1200	1200	–	1200	1000	1200	600
Время срабатывания: замыкание, мс	17–27	17–27	15–24	–	9–19	10–19	10–25
Время срабатывания: размыкание, мс	–	–	5–19	–	5–13	5–25	8–15
Минимальная вкл. способность: напряжение В, / ток А	24/10	–/–	17/5	–/–	–/–	17/5	–/–
Габариты, В×Ш×L, мм	76×53×92	77×66×89	84×56×93	86×57×95	91×45×79	87×55×98	74×45×88
Масса, кг	0,49	0,533	0,53	–	0,42	0,49	0,48

– очень широкий набор не только типовых аксессуаров для МП (вспомогательные контактные блоки, тепловые реле, ограничители пе-

ренапряжений), но и всевозможных приспособлений, значительно упрощающих монтаж и обслуживание аппаратов.

Учитывая тот факт, что бесперебойная работа электрического двигателя в значительной степени зависит от надежности МП, заслуживает отдельного рассмотрения такой важный показатель надежности, как коэффициент технической готовности. Этот показатель учитывает не только интенсивность отказов, но и время, требуемое для восстановления работоспособности МП, характеризуя вероятность того, что в нужный момент аппарат сработает, и система выполнит требуемые задачи. Для большинства МП, приведенных в таблице 5.1, производители не указывают в технических характеристиках изделия такие показатели, как среднее время наработки на отказ или частоту отказов. Однако накопленные статистические данные работы указанных выше серий МП позволяют получить следующие осредненные данные по коэффициенту готовности: для МП российского производства № 1, 3, 7 (табл. 5.1) коэффициент готовности равен 0,9905, для МП украинского производства № 2 – 0,9812, а для импортных МП № 4, 5, 6 – 0,9383. Таким образом, на объектах повышенной важности, где требуется высокая надежность, целесообразнее применять МП № 1,3,7.

С учетом исключительно широкого распространения МП большое значение приобретает снижение мощности, потребляемой ими. В электромагнитном пускателе мощность расходуется в электромагните и тепловом реле. Потери в электромагните составляют примерно 60 %, в тепловых реле – 40 %. С целью снижения потерь в электромагните применяется холоднокатаная сталь Э-310. МП серии ПМЛ и ПМ12 обладают коммутационной способностью до  $20 \cdot 10^6$  операций и частотой включений до 1200 в час (табл. 5.1). Выбор МП осуществляется по номинальному напряжению сети, номинальному напряжению питания катушек и номинальному коммутируемому току электроприемника.

Допускается МП выбирать по «величине пускателя»: 1 величина – 10 А, 4,5 кВт; 2 величина – 25 А, 11 кВт, 3 величина – 40 А, 18 кВт; 4 величина – 63 А, 30 кВт; 5 величина – 100 А, 45 кВт; 6 величина – 160 А, 75 кВт; 7 величина – 250 А, 110 кВт.

Это термин характеризует допустимый ток МП через силовые контакты при напряжении 380 Вольт и в режиме работы пускателя АС-3.

Категории применения МП: АС-1 – нагрузка МП активная или мало индуктивная; АС-3 – режим прямого пуска двигателя с коротко-

замкнутым ротором, отключение вращающегося двигателя; АС-4 – пуск электродвигателя с короткозамкнутым ротором, отключение неподвижных или медленно вращающихся двигателей, торможение противотоком [19].

На корпусах МП указываются все необходимые параметры. Это позволяет во время монтажа проверять соответствие монтируемого МП для конкретной схемы. У импортных МП указывается в качестве основного параметра не «величина пускателя», а мощность, на которую в различных условиях рассчитан МП. Чаще это оказывается удобней при выборе нужного МП.

Конструкция многих МП предусматривает возможность быстрого навесного монтажа на них: дополнительных нормально замкнутых или нормально разомкнутых контактов; реле задержек ON или OFF со временем задержки до 160 с; тепловых реле.

Электромагнитные пускатели серии ПМЛ предназначены для дистанционного пуска непосредственным подключением к сети, остановки и реверсирования трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при напряжении до 660В переменного тока частотой 50 Гц, а в исполнении с трехполюсными тепловыми реле серии РТЛ – для защиты управляемых электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз. МП могут комплектоваться ограничителями перенапряжений типа ОПН. При такой комплектации МП пригодны для работы в системах управления с применением микропроцессорной техники при шунтировании включающей катушки помехоподавляющим устройством или при тиристорном управлении. Номинальное переменное напряжение включающих катушек: 24, 36, 40, 48, 110, 127, 220, 230, 240, 380, 400, 415, 500, 660В частоты 50 Гц и 110, 220, 380, 400, 415, 440В частоты 60 Гц. МП типа ПМЛ на токи 10...63 А имеют прямоходовую магнитную систему Ш-образного типа. Контактная система расположена перед магнитной. Подвижная часть электромагнита составляет одно целое с траверсой, в которой предусмотрены подвижные контакты и их пружины. Тепловые реле серии РТЛ подсоединяются непосредственно к корпусам пускателей.

Структура маркировки МП типа ПМЛ.

ПМЛ-Х1 Х2 Х3 Х4 Х5 Х6 Х7 Х8:

ПМЛ – серия электромагнитных пускателей;

Х1 – величина пускателя по номинальному току;

1 – 10 (16) А; 2– 25 А; 3 – 40 А; 4 – 63 (80) А; 5 – 125 А; 6 – 160 А; 7 – 250 А.

X2 – исполнение МП по назначению и наличию теплового реле:

1– нереверсивный МП без теплового реле;

2– нереверсивный МП с тепловым реле;

5 – реверсивный МП без теплового реле с механической блокировкой для степени защиты IP00, IP20 и с электрической и механической блокировками для степени защиты IP40, IP54;

6 – реверсивный МП с тепловым реле с электрической и механической блокировками;

7 – МП со схемой звезда-треугольник степени защиты IP54 (МП для трехфазного асинхронного двигателя, в пусковом положении которого обмотки статора соединяются звездой, а в рабочем положении – треугольником).

X3 – исполнение МП по степени защиты и наличию кнопок управления и сигнальной лампы:

0 – IP00; 1 – IP54 без кнопок; 2 – IP54 с кнопками «Пуск» и «Стоп»;

3 – IP54 с кнопками «Пуск», «Стоп» и сигнальной лампой (изготавливается только на напряжения 127, 220 и 380 В, 50 Гц);

4 – IP40 без кнопок; 5 – IP40 с кнопками «Пуск» и «Стоп»; 6 – IP20.

X4 – число и вид контактов вспомогательной цепи:

0 – 1z (на ток 10 и 25 А), 1z + 1p (на ток 40 и 63 А), переменный ток;

1 – 1p (на ток 10 и 25 А), переменный ток;

2 – 1z (на ток 10, 25, 40 и 63 А), переменный ток;

5 – 1z (на 10 и 25 А), постоянный ток;

6 – 1p (на ток 10 и 25 А), постоянный ток).

X5 – сейсмостойкое исполнение МП (С);

X6 – исполнение МП с креплением на стандартные рейки P2-1 и P2-3;

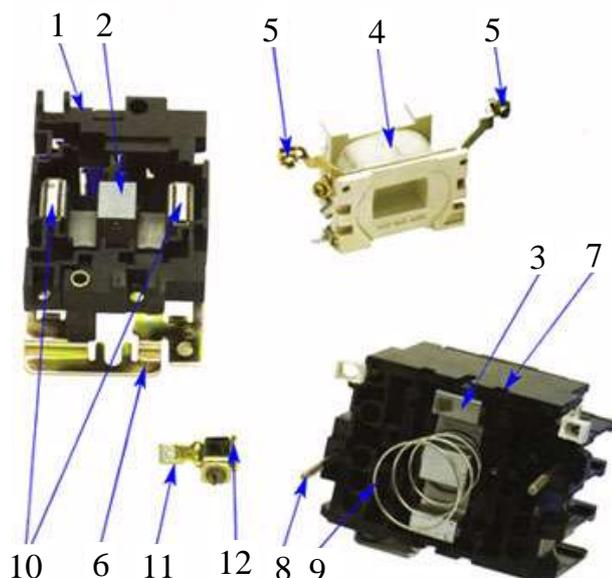
X7 – климатическое исполнение (О) и категория размещения (2, 4);

X8 – исполнение по коммутационной износостойкости (А, Б, В).

МП серии ПМЛ (рис. 5.2) состоят из неподвижной части (рис. 5.2, поз. 2), закрепленной в основании, и подвижной части (рис. 5.2, поз. 3) с контактами для коммутации силовой цепи. Управление работой МП осуществляется с помощью электромагнитной катушки

управления (рис. 5.2, поз. 4), расположенной на среднем стержне неподвижной части Ш-образного магнитопровода.

Под воздействием электромагнитного поля втягивающей катушки (рис. 5.2, поз. 4), возникающего при протекании через нее тока, происходит смыкание двух частей магнитопровода (рис. 5.2, поз. 3, 4) с преодолением сопротивления возвратной пружины (рис. 5.2, поз. 9), а также пружин подвижных контактов. При этом контакты смыкаются и происходит коммутация устройства.



*Рис. 5.2. Конструкция электромагнитного пускателя серии ПМЛ:*

*1 – основание из термостойкой пластмассы; 2 – неподвижная часть магнитопровода; 3 – подвижная часть магнитопровода; 4 – электромагнитная катушка управления; 5 – контактные зажимы; 6 – металлическая платформа (для пускателей номиналом свыше 25 А); 7 – траверса с подвижными контактами; 8 – крепежный винт; 9 – возвратная пружина; 10 – алюминиевые кольца; 11 – неподвижный контакт; 12 – зажим с насечкой для фиксации проводника*

На МП можно установить 2-контактную или 4-контактную приставку с различным набором размыкающих и замыкающих контактов. Контактные приставки (КП) механически соединяются с МП со стороны входных зажимов (сверху) и фиксируются над траверсой МП. Способ крепления обеспечивает жесткую и надежную связь между КП и МП.

Контактная приставка серии ПКЛ (рис. 5.3) предназначена для увеличения количества вспомогательных контактов в схемах управления электроприводами до 440 В постоянного тока и до 660 В перемен-

ного тока частотой 50 и 60 Гц. КП устанавливаются на МП серий ПМЛ-1000...ПМЛ-4000 и на промежуточные реле серии РПЛ.

Структура условного обозначения КП серии ПКЛ

ПКЛ-Х1 Х2 Х3 Х4 4 Х5:

ПКЛ – условное обозначение серии;

Х1 – количество замыкающих контактов (0; 1; 2; 4);

Х2 – количество размыкающих контактов (0; 1; 2; 4);

Х3 – исполнение приставки по степени защиты;

М – исполнение со степенью защиты IP20;

Отсутствие буквы означает приставку со степенью защиты IP00;



Рис. 5.3

*Контактная приставка серии ПКЛ*

Х4 – климатическое исполнение О, ОМ по ГОСТ 15150-69;

4 – категория размещения 4 по ГОСТ 15150-69;

Х5 – исполнение по коммутационной износостойкости в режиме нормальных коммутаций:

А –  $3 \cdot 10^6$  циклов; Б –  $1,6 \cdot 10^6$  циклов.

Реле промежуточные (РП) серии РПЛ (рис. 5.4) предназначены для применения в качестве комплектующих изделий в стационарных установках, в основном в схемах управления электроприводами при напряжении до 440 В постоянного тока и до 660 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц. Реле пригодны для работы в системах управления с применением микропроцессорной техники при шунтировании втягивающей катушки ограничителем ОПН или при тиристорном управлении. При необходимости, на РП может быть установлена одна из приставок ПКЛ или ПВЛ. РП исполнения М допускают также установку одной или двух приставок боковых ПКБ. Номинальный ток контактов – 16 А.



Рис. 5.4.  
Реле РПЛ

Структура условного обозначения РП серии РПЛ

РПЛ-Х1 Х2 Х3 Х4 Х5 4 Х6:

РПЛ – условное обозначение серии;

Х1 – исполнение реле по роду тока цепи управления:

1 – с управлением на переменном токе;

Х2 – количество замыкающих контактов;

Х3 – количество размыкающих контактов;

Х4 – исполнение приставки по степени защиты:

М – исполнение со степенью защиты IP20;

Отсутствие буквы означает приставку со степенью защиты IP00;

Х5 – климатическое исполнение О, Ом по ГОСТ 15150-69;

4 – категория размещения 4 по ГОСТ 15150-69;

Х6 – Исполнение по коммутационной износостойкости в режиме нормальных коммутаций: А –  $3 \cdot 10^6$  циклов; Б –  $1,6 \cdot 10^6$  циклов.

Приставка памяти ППЛ-04 превращает РП серии РПЛ в двустабильное. Она состоит из электромагнита и защелки, которая позволяет удерживать контактную систему реле во включенном положении после обесточивания обмотки реле. При подаче напряжения на обмотку приставки памяти происходит освобождение защелки, и РП возвращается в состояние, соответствующее начальному состоянию одностабильного РП.

Приставки выдержки времени пневматические серии ПВЛ (рис. 5.5) или просто «приставка» предназначены для создания выдержки времени при включении или отключении МП. Приставки могут устанавливаться только на реле РП серии РПЛ и на МП серии ПМЛ-1000...ПМЛ-4000.

Приставка устанавливается сверху МП, скользя по направляющим до упора, при этом защелка приставки своими выступами заходит за выступы на корпусе МП. Способ крепления обеспечивает жесткую и надежную связь между приставкой и МП.



Рис. 5.5.  
Приставка ПВЛ

Приставки серии ПВЛ выпускаются: с диапазоном выдержек времени от 0,1 до 15 с, от 0,1 до 30 с, от 10 до 100 с и от 10 до 180 с; со степенью защиты IP00 и IP20, в двух исполнениях по износостойкости: А –  $3 \cdot 10^6$  циклов; Б –  $1,6 \cdot 10^6$  циклов.

Для увеличения количества вспомогательных контактов цепи управления МП (при установленной приставке серии ПВЛ) применяется приставка бокового крепления серии ПКБ. Основные характеристики приставок серии ПВЛ приведены в таблице 5.2.

Реле серии РТЛ (далее «реле») предназначены для защиты трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором от токов перегрузок недопустимой продолжительности, в том числе возникающих от асимметрии токов в фазах и от выпадения одной из фаз.

Таблица 5.2

### Технические характеристики приставок серии ПВЛ

Тип приставки	Диапазон выдержки времени, с	Род выдержки времени	Количество и тип контактов	Номинальный ток контактов, А		
ПВЛ-1104	0,1– 30	При включении	1 замыкающий и 1 размыкающий	10		
ПВЛ-1204	10–180					
ПВЛ-1304	0,1–15					
ПВЛ-1404	10–100					
ПВЛ-2104	0,1–30	При отключении			1 замыкающий и 1 размыкающий	10
ПВЛ-2204	10–180					
ПВЛ-2304	0,1–15					
ПВЛ-2404	10–100					

Реле могут крепиться непосредственно к МП серии ПМЛ или устанавливаться индивидуально на рейке или крепиться винтами к панели. Индивидуальная установка реле осуществляется с помощью клеммников типа КРЛ (до 100А). На токи до 93 А используются реле РТЛ-1000, 2000, 2000Д.

Габаритные и установочные размеры реле типа РТЛ-1000 и РТЛ-2000 приведены на рисунке 5.6.

Структура условного обозначения реле серии РТЛ.

РТЛ-Х1 ХХХ2 Х3 Х4 Х5 Х6 4:

РТЛ – буквенное обозначение серии реле;

Х1 – цифра, обозначающая номинальный ток реле:

1 – исполнение на токи до 25А; 2 – исполнение на токи до 93А;  
 ХХХ2 – цифры, обозначающие диапазон токов уставки (см. табл. 5.3);

Х3 – исполнение реле с уменьшенными габаритными размерами:

Д – буква, обозначающая исполнение реле РТЛ-2000 для установки с магнитными пускателями ПМЛ-4160ДМ, ПМЛ-4560ДМ;

К – буква, обозначающая исполнение реле РТЛ-2000 для установки с магнитными пускателями ПМЛ-3000Д;

М – буква, обозначающая исполнение реле со степенью защиты контактных зажимов IP20 по ГОСТ 14255-69;

Х4 – способ возврата реле: 1 – ручной возврат; 2 – самовозврат;

Х5 – класс расцепления: В – класс расцепления 10, отсутствие буквы – класс расцепления 10А;

Х6 – климатическое исполнение О, ОМ по ГОСТ 15150-69;

4 – категория размещения 4 по ГОСТ 15150-69.

Допускается эксплуатация реле при встройке в оболочку МП или комплектного устройства для исполнения УХЛЗ.

Основные характеристики реле серии РТЛ приведены в таблице 5.3.

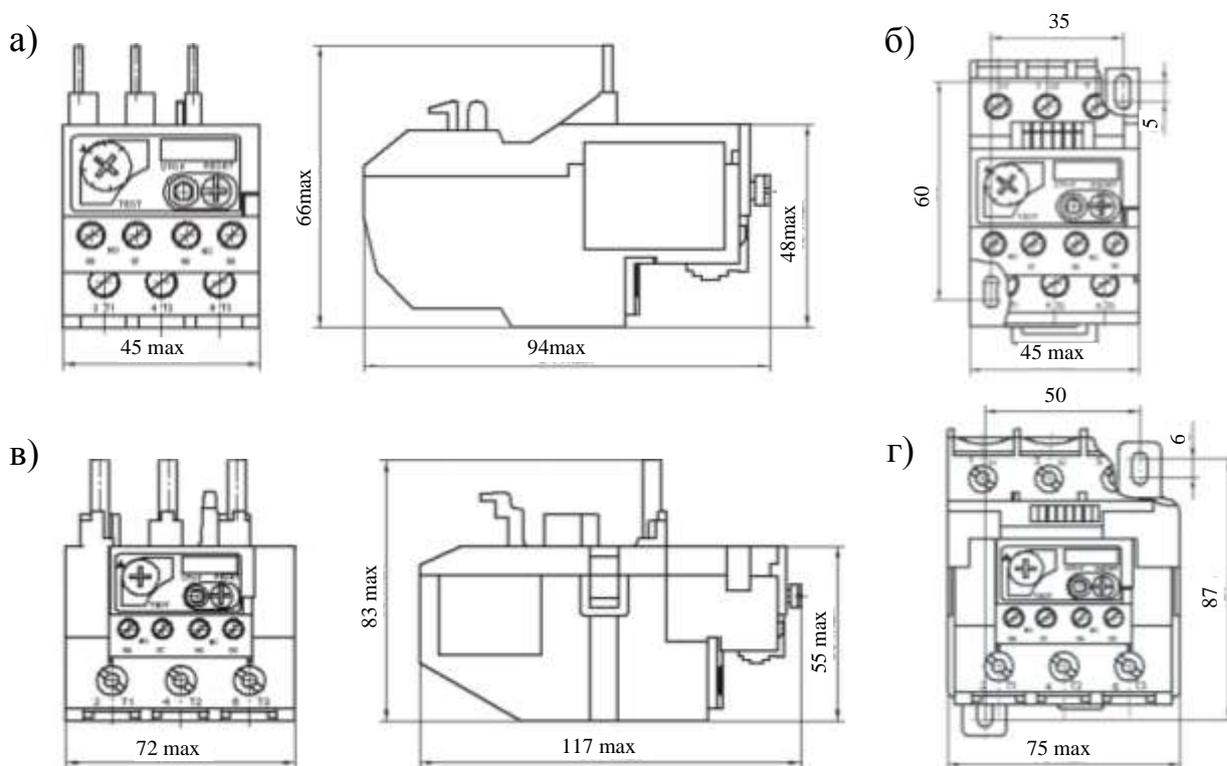


Рис. 5.6. Габаритные размеры реле типа РТЛ: а) РТЛ-1000 и в) РТЛ-2000 – для подсоединения к контактору; б) РТЛ-1000 и г) РТЛ-2000 – для индивидуальной установки с клеммником типа КРЛ-1и 2, соответственно

По аналогии с реле серии РТЛ реле электротепловые серий РТЛ-М и РТЛ-М2 (рис. 5.7) предназначены, в первую очередь, для защиты от перегрузки асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и используются совместно с контакторами ПМЛ и ПМЛ-Н в составе МП. Реле изготавливаются в двух габаритах, используемых с соответствующей группой контакторов. Корпус выполнен из термостойкой литьевой пластической массы и состоит из основания и крышки. Конструкция реле – «насыпная» и в основание при сборке закладывают заранее заготовленные функциональные узлы: термобиметаллические пластинчатые нагреватели с приваренными к ним жесткими выводами для подключения к контактору и выходным зажимам, рейку сброса, механизм управления с мостиковыми контактами цепей «вторичной» коммутации.

Таблица 5.3

### Технические характеристики реле серии РТЛ

Номинальный ток пускателя, А	Тип реле	Пределы регулирования тока несрабатывания, А	Номинальное напряжение, В	Мощность потребляемая одним полюсом, Вт	Мощность электродвигателя, кВт при напряжении, В 50 Гц, 60 Гц				
					220	380	440	500	660
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	РТЛ100104	0,1–0,17	660	2,15	–	–	–	–	–
	РТЛ100204	0,16–0,26		2,25	–	–	–	–	–
16	РТЛ100304	0,24–0,4	660	2,05	–	–	–	–	–
	РТЛ100404	0,38–0,65		1,99	–	–	–	–	0,37
	РТЛ100504	0,61–1,0		2,0	–	–	–	0,37	0,75
	РТЛ100604	0,95–1,6		2,0	–	0,37	–	0,75	1,1
	РТЛ100704	1,5–2,6		1,80	0,37	0,75	0,75	1,1	1,5
	РТЛ100804	2,4–4,0		1,87	0,75	1,5	1,5	2,0	3,0
	РТЛ101004	3,8–6,0		1,84	1,1	2,2	2,2	3,0	4,0
	РТЛ101204	5,5–8,0		1,68	1,8	3,0	3,0	4,0	5,5
	РТЛ101404	7,0–10,0		1,75	2,2	4,0	3,7	5,5	7,5
	РТЛ101604	9,5–14,0		3,0	3,0	5,5	5,5	7,5	10
РТЛ102104	13,0–19,0	3,0	4,0	7,5	7,5	10	15		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25	РТЛ101604	9,5–14,0		3,0	3,0	5,5	5,5	7,5	10
	РТЛ102104	13,0–19,0		3,0	4,0	7,5	7,5	10	15
	РТЛ102204	18–25		3,0	5,5	11	11	15	18,5
40	РТЛ205304	23–32		2,43	7,5	15	15	18,5	22
	РТЛ205504	30–41		3,03	10	18,5	18,5	22	30
	РТЛ2053К	23–32		2,43	7,5	15	15	18,5	22
	РТЛ2055К	30–41		3,03	10	18,5	18,5	22	30
63	РТЛ205504	30–41		3,03	10	18,5	18,5	22	30
	РТЛ205704	38–52		3,30	11	22	25	30	37
	РТЛ205904	47–64		3,69	15	25	30	37	45
	РТЛ206104	54–74		4,38	18,5	30	37	45	55
80	РТЛ206104	54–74		4,38	18,5	30	37	45	55
	РТЛ206304	63–86	5,62	22	37	45	50	76	
	РТЛ2061ДМ04	54–74	4,38	18,5	30	37	45	55	
	РТЛ2063ДМ04	63–86	5,62	22	37	45	50	70	



Рис. 5.7.  
Реле РТЛ

В конструкцию реле заложен механизм ускорения срабатывания при резких перегрузках, что дает возможность практически исключить выход из строя защищаемого электродвигателя при внезапном заклинивании ротора или разрушении подшипников. Все исполнения реле имеют регулирование по току срабатывания, что дает возможность точно выставить уставку под конкретного потребителя (электропривод, технологическая установка и т.д.).

Серия РТЛ-М перекрывает диапазон токов 0,1–80 А и имеет 20 исполнений, несколько проще конструктивно, чем РТЛ-М2, так как не имеет переключателя «Ручной автоматический» (рис. 5.8) возврата в исходное состояние после срабатывания.

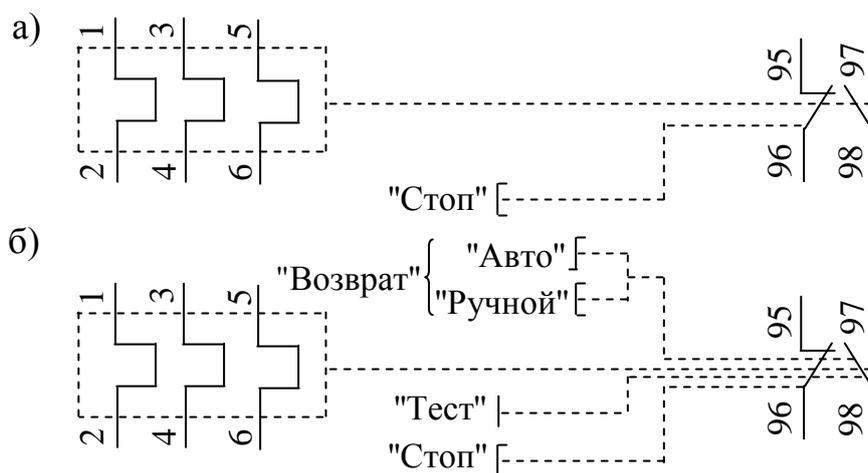


Рис. 5.8. Электрическая схема соединений реле РТЛ-М и РТЛ-М2:  
 а) – РТЛ 1001- М–РТЛ 2063- М; б) – РТЛ 1001- М2– РТЛ 2065- М2

Серия РТЛ-М2 перекрывает диапазон токов 0,1–93 А и имеет 21 исполнение.

Преимущества реле РТЛ-М и РТЛ-М2:

- реле фиксируются с помощью специального выступа и жестких выводов силового присоединения непосредственно МП;
- серии выполнены в двух габаритах: габарит 1 стыкуется с МП серии ПМЛ на ток до 25 А, габарит 2 – для МП на ток от 40–95А;
- наличие двух групп свободных контактов: 95–96 – на размыкание, 97–98 – на замыкание;
- два режима возврата механизма реле в исходное состояние после остывания термобиметаллических нагревателей: ручной кнопкой «Reset», автоматический;
- наличие механизма ускорения на 40 % срабатывания при больших токах перегрузки или перекосе фаз с элементами термокомпенсации;
- возможность пломбирования реле после настройки под рабочие параметры защищаемого оборудования.

Тепловые реле перегрузки серии РТЛ. У торговой марки Telemecanique компании Schneider Electric разработаны для защиты цепей переменного тока и электродвигателей от перегрузки, асимметрии фаз, затянутого пуска и заклинивания ротора и могут устанавливаться непосредственно под МП серии ПМУ (рис. 5.9).

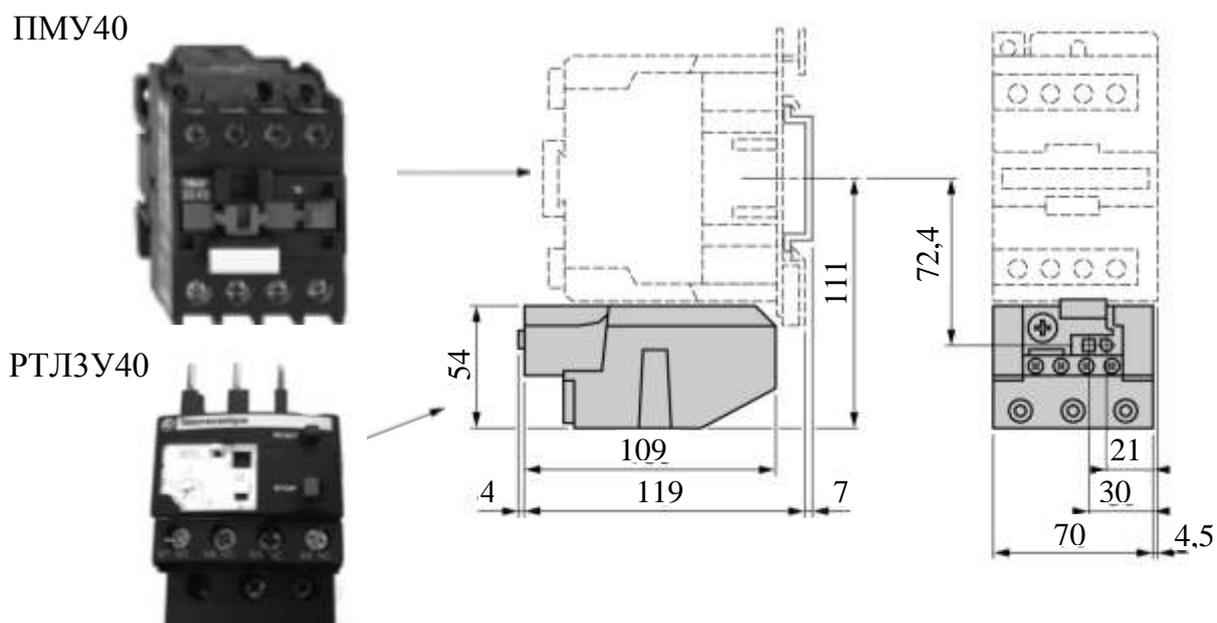


Рис. 5.9. Пример установки реле РТЛЗУ непосредственно на МП типа ПМУ40

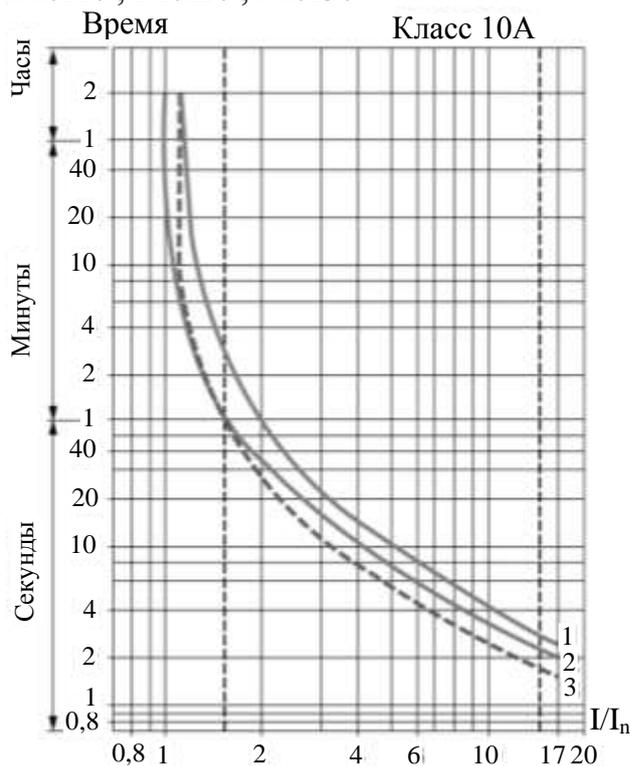
Реле типа: РТЛ1У перекрывают диапазон токов 0,1–25 А и имеет 14 исполнений; РТЛ2У перекрывают диапазон токов 23–40 А и имеет 3 исполнения; РТЛ3У перекрывают диапазон токов 17–104 А и имеет 7 исполнений и РТЛ4У перекрывают диапазон токов 51–630 А и имеет 10 исполнений.

Среднее время срабатывания в зависимости от кратности тока установки для реле серии РТЛ.У приведено на рисунке 5.10.

Преимущества реле серии РТЛ.У:

- реле имеют встроенную защиту от обрыва или пропадания фазы, заклинивания ротора в виде механической системы «коромысел»;
- реле имеют два режима: ручной (взвод реле по нажатию кнопки) и автоматический (самопроизвольный взвод реле после остывания биметаллических пластин);
- в реле есть функция «Тестирование» (имитация срабатывания теплового реле без перегрузки);
- токовые уставки выставляются поворотом диска. Диск закрывается прозрачной крышкой, которая может быть опломбирована;
- реле РТЛ1У–РТЛ3У имеют подвижные контактные выводы, что позволяет легко подключать их к разным типоразмерам МП типа ПМУ09–95 без использования дополнительных инструментов;
- реле РТЛ4У крепится отдельно от контактора. Электрическое соединение осуществляется с помощью проводов.

РТЛ1У, РТЛ2У, РТЛ3У



РТЛ4У

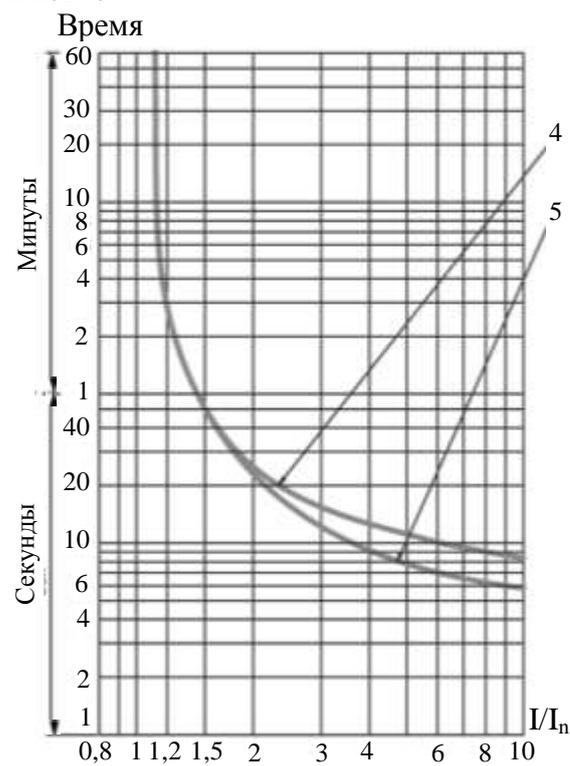


Рис. 5.10. Характеристики срабатывания защиты реле типа РТЛ1У, РТЛ2У, РТЛ3У и РТЛ4У: 1 – симметричный трехфазный режим из холодного состояния; 2 – симметричный двухфазный режим из холодного состояния; 3 – симметричный трехфазный режим после длительного протекания тока, равного току уставки (горячее состояние); 4 – три фазы из горячего состояния (максимальная уставка); 5 – три фазы из горячего состояния (минимальная уставка)

Для изменения уставок реле серии РТЛ.У необходимо открыть прозрачную крышку (рис. 5.11, поз. 1) над диском регулировки установок. Установить ток уставки в амперах вращением диска (рис. 5.11, поз. 1).

Для изменения режима повторного взвода необходимо предварительно открыть прозрачную крышку и осуществить поворот синего переключателя «СБРОС» (рис. 5.11, поз. 4):

- поворот влево (рис. 5.12, а) – ручной повторный взвод;
- поворот вправо (рис. 5.12, б) – автоматический повторный взвод.

Переключатель «СБРОС» остается в положении автоматического повторного взвода до принудительного возврата в положение ручного повторного взвода. При закрытии крышки переключатель блокируется. Ручной повторный взвод осуществляется нажатием на синюю кнопку «СБРОС».

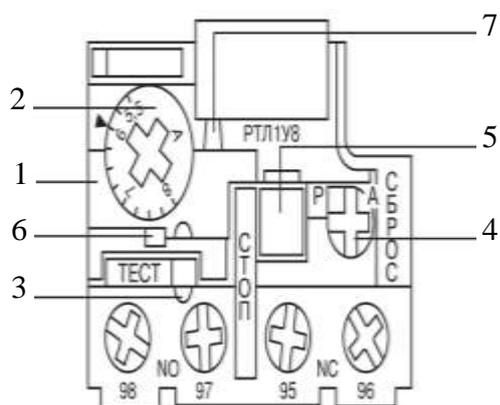


Рис. 5.11. Панель уставок реле серии РТЛ.У

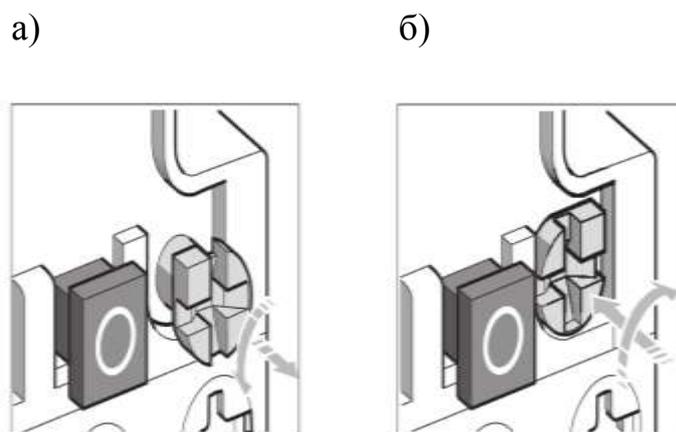


Рис. 5.12. Выбор автоматического или ручного повторного взвода

Функция «Остановка» приводится в действие нажатием красной кнопки «СТОП» (рис. 5.11, поз. 5). Нажатие кнопки «СТОП» (рис. 5.13, а):

- изменяет состояние нормально открытого (НО) контакта;
- не изменяет состояние нормально закрытого (НЗ) контакта.

Кнопка «СТОП» может блокироваться U-образной скобой (рис. 5.13, б). При закрытии крышки устройство блокируется.

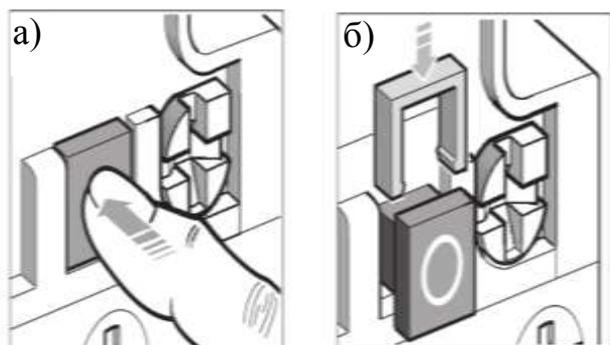


Рис. 5.13. Функция «Остановка» реле серии РТЛ.У

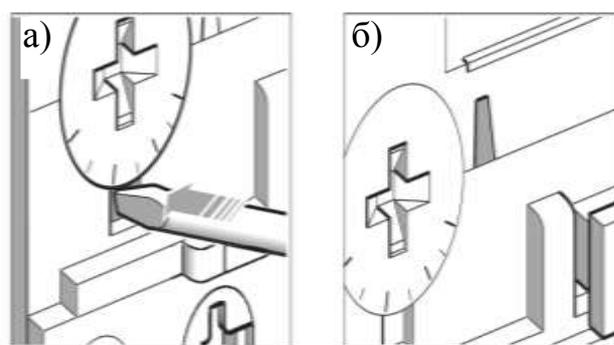


Рис. 5.14. Функция «Тестирование» реле серии РТЛ.У

Функция «Тестирование» приводится в действие нажатием отверткой на красную кнопку «ТЕСТ» (рис. 5.11, поз. 6). Нажатие кнопки «ТЕСТ» (рис. 5.14, а) имитирует срабатывание реле при перегрузке и:

- изменяет положение НО и НЗ контактов;
- изменяет положение (рис. 5.14, б) индикатора срабатывания реле (рис. 5.11, поз. 7).

Тепловые реле перегрузки типа LRD и LR97 серии D торговой марки Telemecanique разработаны для защиты цепей переменного тока и электродвигателей (с номинальным током 0,1–150 А) от перегрузки, асимметрии фаз, затянутого пуска и заклинивания ротора и могут устанавливаться непосредственно под МП типа LC1: LC – обозначение основного модуля контактора серии Tesys, 1 – нереверсивный контактор.

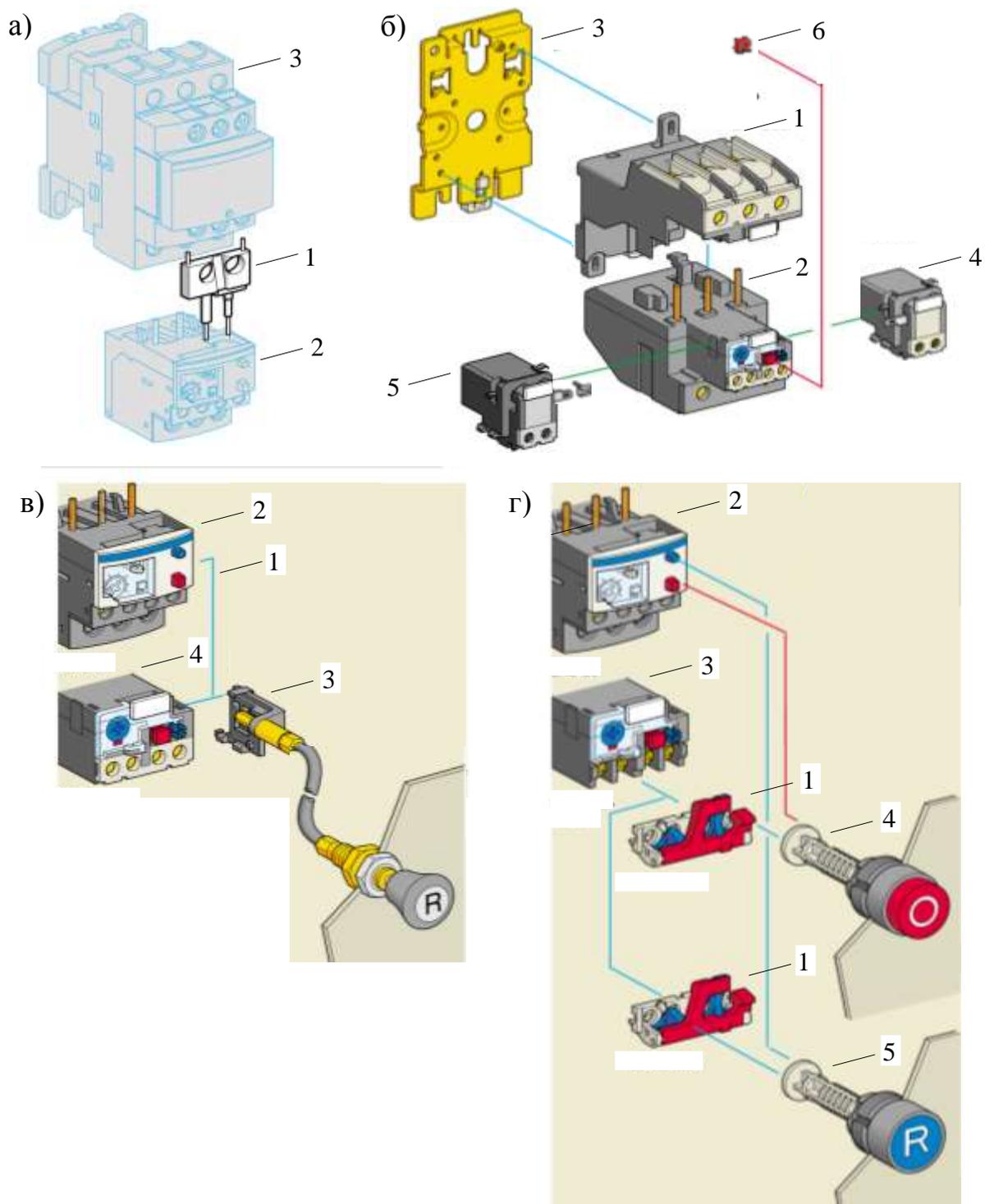
Реле класса 10А типа: LRD-01–35 (№ по каталогу) перекрывают диапазон токов 0,1–38 А и имеет 16 исполнений; LRD-3322–3365 перекрывают диапазон токов 17–104 А и имеет 8 исполнений; LRD-4365–4369 перекрывают диапазон токов 80–140 А и имеет 3 исполнения.

Комплект для монтажа (рис. 5.15, а, поз.1) предназначен для прямого присоединения НЗ контакта реле LRD (рис. 5.15, а, поз. 2) к МП типа LC1 (рис. 5.15, а, поз. 3).

Клеммный блок (рис. 5.15, б, поз. 1) предназначен для монтажа реле LRD (рис. 5.15, б, поз. 2) на 35 мм рейке или винтового присоединения к монтажной плате (рис. 5.15, б, поз. 3) с посадочным размером 110 мм. Конструкция реле позволяет устанавливать устройство для удаленного отключения или электрического возврата (рис. 5.15, б, поз. 4), а также устройство для удаленного включения или электрического возврата (рис. 5.15, б, поз. 5). Кроме того, на лицевую панель реле можно установить блокировку (рис. 5.15, б, поз. 6) кнопки «Стоп».

С помощью гибких проводников LAD-7305 (рис. 5.15, в, поз. 1) для реле типа LRD (рис. 5.15, в, поз. 2) и LA7-D305 (рис. 5.15, в, поз. 3) для реле LRD-3 (рис. 5.15, в, поз. 4) можно осуществлять удаленное управление функцией «Возврат».

Переходное устройство для механизма блокировки двери (рис. 5.15, г, поз. 1) позволяет осуществлять удаленное управление реле типа LRD (рис. 5.15, г, поз. 2) и LRD-3 (рис. 5.15, г, поз. 3) с помощью рукоятки с пружинным возвратом для кнопки «Стоп» (рис. 5.15, г, поз. 4) и / или для кнопки «Возврат» (рис. 5.15, г, поз. 5).



*Рис. 5.15. Дополнительные аксессуары для монтажа и управления реле типа LRD и LRD-3*

Среднее время срабатывания в зависимости от кратности тока установки для трехполюсного теплового реле перегрузки серии D типа LRD приведено на рисунке 5.16.

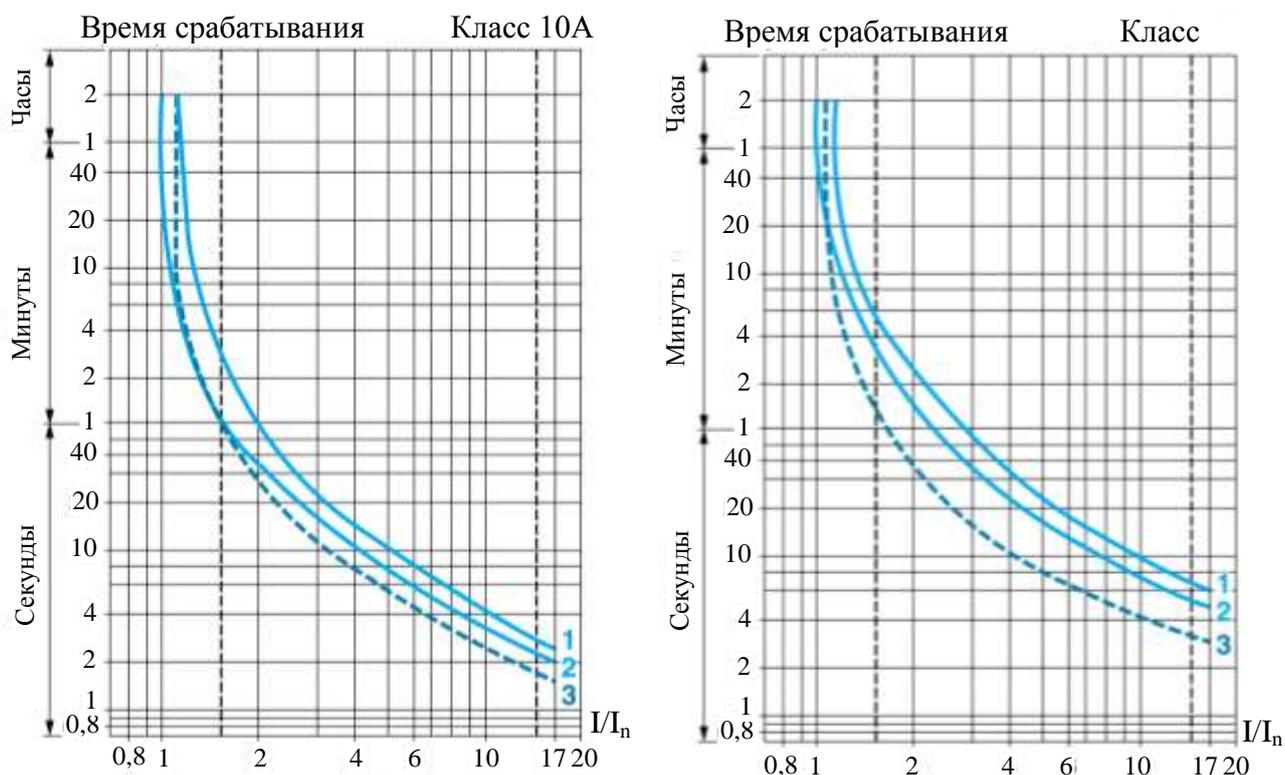


Рис. 5.16. Характеристики срабатывания защиты реле типа LRD:

- 1 – симметричная нагрузка, 3 фазы, из холодного состояния;
- 2 – симметричная нагрузка, 2 фазы, из холодного состояния;
- 3 – симметричная нагрузка, 3 фазы, при длительном протекании установленного тока (из горячего состояния)

Электронное реле перегрузки по току LR97 D (рис. 5.17) разработано для наиболее полного обеспечения защиты электродвигателей и дополняет ряд существующих реле типа LRD.

Применение данных электронных реле рекомендуется для обеспечения защиты электродвигателей, работающих в механизмах с повышенным моментом нагрузки, а также устройств, обладающих большой инерцией или имеющих высокую вероятность заклинивания в установившемся режиме работы:

- конвейеры, дробилки и смесители;
- вентиляторы, насосы и компрессоры;
- центрифуги и сушилки;
- прессы, подъемники, обрабатывающие станки (распилочные, строгальные, протяжные, лентошлифовальные).

Электронное реле может использоваться для обеспечения защиты электродвигателей при затянутом пуске или частых включениях.

Реле LR97 D имеет две защитные функции с предустановленными параметрами: 0,5 с при блокировке ротора электродвигателей и 3 с при пропадании фазы.

Реле LR97 D может быть использовано для обеспечения защиты механической части промышленной установки. Для реализации этой функции устанавливается минимальное значение на диске O-TIME (рис. 5.17, поз. 7), что обеспечивает отключение в течение 0,3 с.

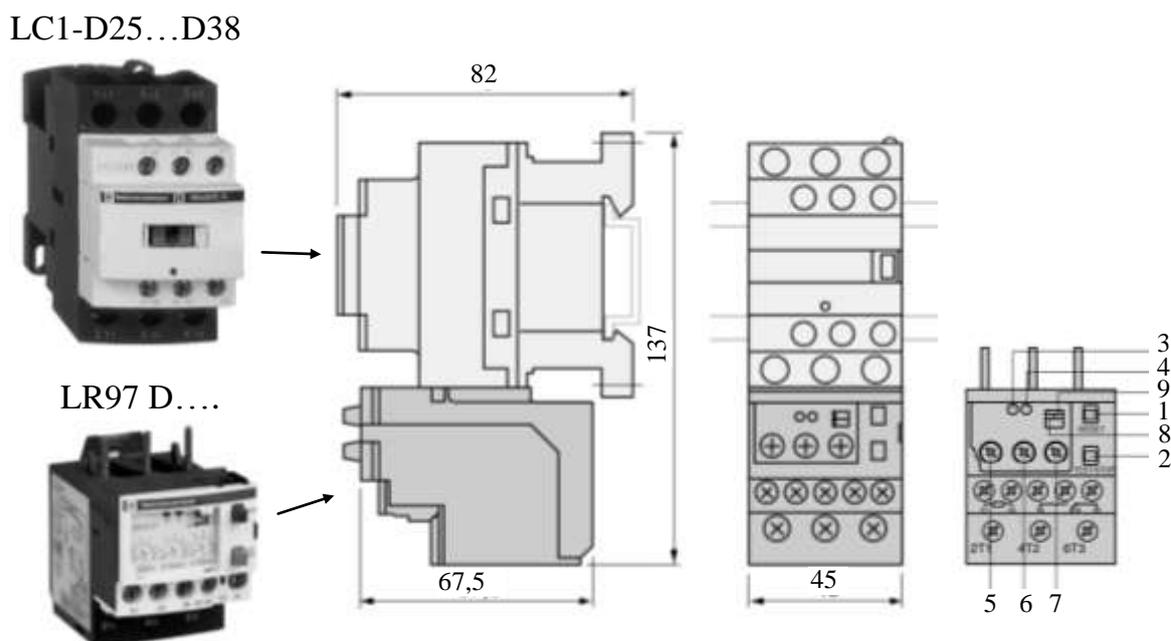


Рис. 5.17. Установка электронного реле LR97 D на МП типа LC1-D25...D38: 1 – кнопка возврата RESET; 2 – кнопка TEST/STOP; 3 – индикатор состояния готовности / работы; 4 – индикатор срабатывания реле; 5 – установка тока LOAD; 6 – установка времени пуска D-TIME; 7 – установка задержки срабатывания O-TIME; 8 – ручная/автоматическая установка повторного взвода; 9 – установка режима: 1-фазный / 3-фазный

Функции контроля и защиты, которое обеспечивает реле LR97 D, наиболее полно соответствуют следующим применениям:

- контроль работы электродвигателей, имеющих значительное пусковое время, с высокой вероятностью тяжелого пуска: электродвигатели с повышенным моментом нагрузки, имеющие значительную инерцию;

- контроль работы электродвигателей в установившемся режиме работы, функция обнаружения повышенного момента нагрузки: (электродвигатели с высокой вероятностью «заедания» или блокировки движущихся частей, электродвигатели с возрастающим моментом);

- контроль механических отказов и повреждений;
- быстрое обнаружение перегрузки по сравнению с устройствами тепловой защиты на основе функции  $I^2t$ ;
- защита электродвигателей при специальных применениях: (затянутый пуск; частые пуски: от 30 до 50 в час); электродвигатели с переменным характером нагрузки при работе в установившемся режиме, когда тепловое реле перегрузки не может быть использовано в силу своих характеристик (инерция «тепловой памяти»).

Реле LR97 D имеет два настроечных диапазона времени:

- D-TIME (рис. 5.17, поз. 6): время пуска;
- O-TIME: время несрабатывания (максимально допустимое время отклонений при работе в установившемся режиме).

Функция D-TIME используется только при пуске электродвигателя. В момент пуска функция обнаружения перегрузки не задействована, что позволяет запустить электродвигатель без срабатывания реле защиты, даже при значительных перегрузках. При работе в установившемся режиме, когда вследствие перегрузки или пропадания фазы ток превысит заданное значение, реле сработает по истечении времени, введенного с помощью диска O-TIME.

Светодиодный индикатор красного цвета (рис. 5.17, поз. 3) сигнализирует о произошедшем отключении.

Для настройки реле достаточно выполнить 5 простых действий:

- установить максимальные значения на всех трех дисках настройки (LOAD, D-TIME и O-TIME);
- установить на диске D-TIME значение времени, соответствующее времени пуска электродвигателя;
- когда электродвигатель перейдет в режим постоянной нагрузки, установить значение тока поворотом диска LOAD (рис. 5.17, поз. 5) против часовой стрелки до тех пор, пока красный светодиодный индикатор не начнет мигать;
- медленно повернуть диск LOAD по часовой стрелке до тех пор, пока светодиодный индикатор не перестанет мигать;
- установить пороговое время срабатывания реле, используя диск O-TIME.

Для быстрой диагностики состояний предусмотрены два светодиодных индикатора (зеленый и красный), показывающие состояние реле и режимы работы (табл. 5.4).

Электрическая схема включения реле LR97 D, подключенного к контактору КМ1 при управлении электродвигателем, приведена на рисунке 5.18.

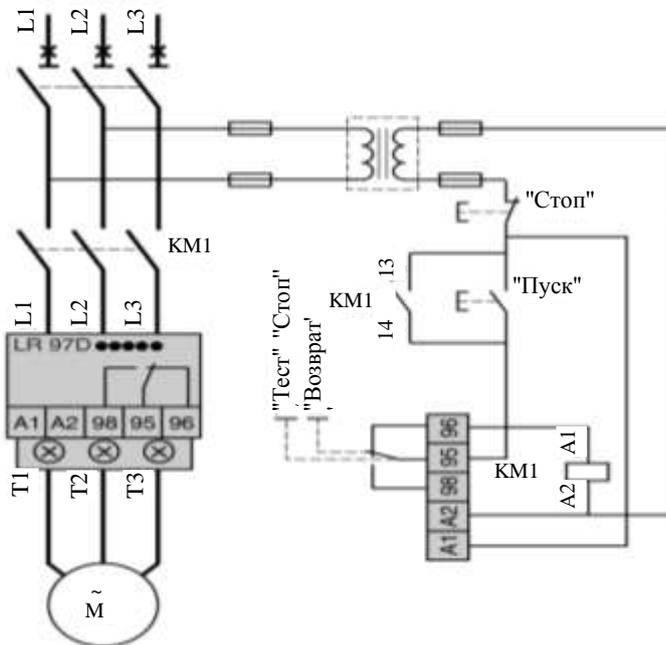


Рис. 5.18. Схема подключения электронного реле типа LR97 D

Таблица 5.4

### Определение режимов работы реле по состоянию светодиодных индикаторов

Состояние		Состояние индикаторов		
		Зеленый	Красный	
Напряжение		On	Off	
Пуск				
Установившийся режим		On	Off	
Перегрузка		On		
Срабатывание и его причина	Перегрузка	Off	On	
	Блокировка ротора	Off		
	Пропадание фазы	L1	Off	
		L2	Off	
L3		Off		

Диаграммы работы реле для трех режимов работы электродвигателя: пуска, механического заклинивания ротора и перегрузки, приведены на рисунке 5.19. В момент пуска функция обнаружения перегрузки не задействована, а время пуска, установленное на диске времени D-TIME, больше времени, при котором пусковой ток электродвигателя больше тока уставки (рис. 5.19). Как следствие, реле защиты не срабатывает. Если в процессе работы электродвигателя происходит заклинивание ротора, то по истечению времени, равном 0,5 сек с момента достижением тока в статорных обмотках двигателя значения, равного трехкратному току уставки – происходит срабатывание реле (рис. 5.19).

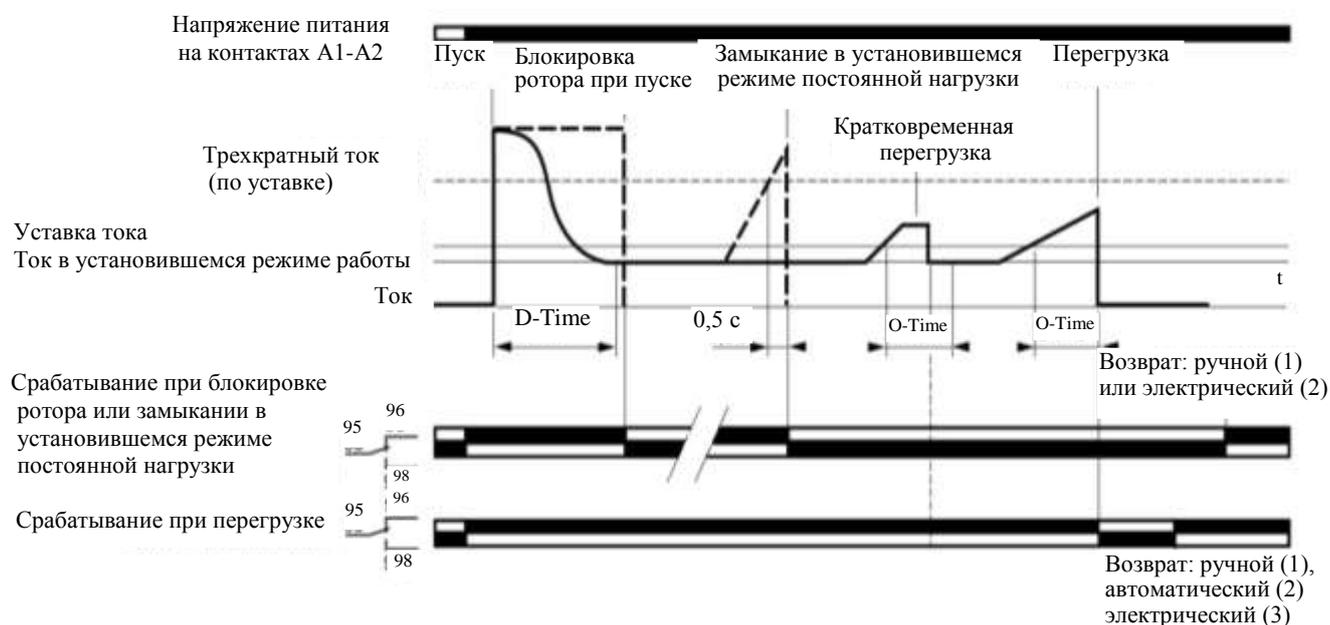


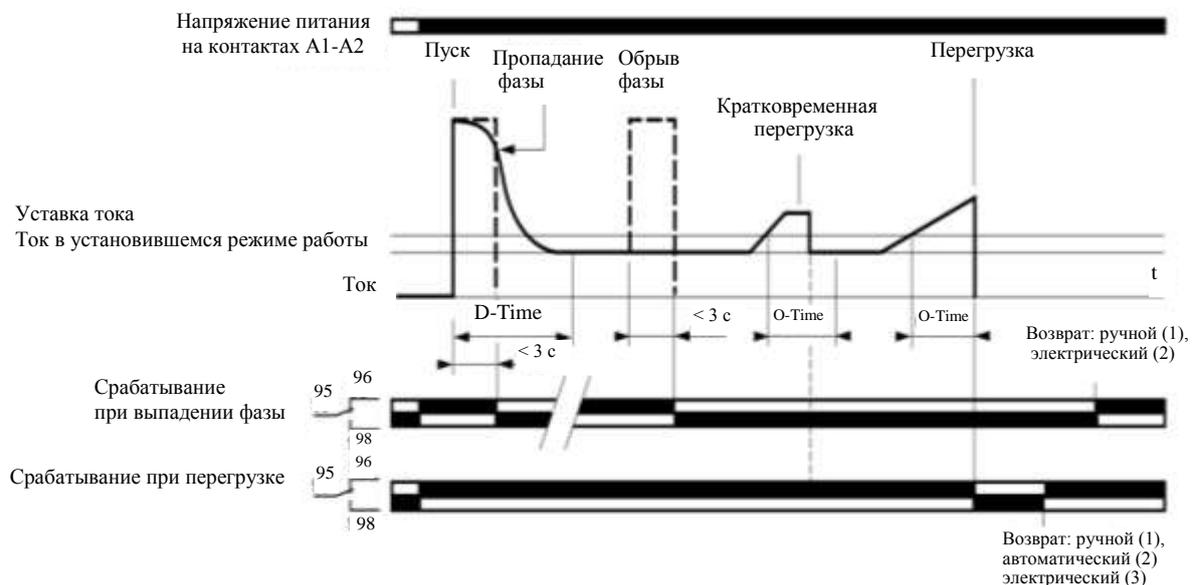
Рис. 5.19. Диаграмма работы реле LR97 D при пуске и механическом заклинивании ротора, кратковременной и длительной перегрузки

В случае возникновения переменной нагрузки, при которой ток в статорных обмотках электродвигателя в процессе своего изменения не превышает трехкратного тока уставки, а сама длительность изменения тока меньше времени несрабатывания реле O-TIME (рис. 5.19), режим работы реле остается неизменным (защита не срабатывает). Если же время действия переменной нагрузки больше или равно времени несрабатывания реле O-TIME (рис. 5.19), реле защиты срабатывает.

Возврат реле в исходное состояние осуществляется тремя способами: 1– ручным, при помощи кнопки «Возврат» (рис. 5.17); 2 – автоматическим, реализуется с помощью кнопки повторного взвода (рис. 17) через фиксированное время, равное 120 с, за исключением

случаев, когда срабатывание защиты обусловлено пуском ротора (неправильно выбрана уставка времени на диске D-TIME), произошло заклинивание ротора и в случае срабатывания при обрыве фазы; 3 – электрическим, обеспечивается кратковременным отключением подачи питания не менее 0,1 с.

Диаграммы работы реле для случая: пропадания фазы при пуске, обрыва фазы в установившемся режиме работы электродвигателя и перегрузки приведены на рисунке 5.20. Из приведенных диаграмм видно, что при пропадании фазы или ее обрыве реле защиты срабатывает по истечении времени, равном 3 с (предустановленный параметр). В случае перегрузки диаграммы работы реле совпадают с аналогичными приведенными для соответствующих режимов на рис. 5.19.



*Рис. 5.20. Диаграмма работы реле LR97 D при пропадании фазы при пуске и установившейся работе электродвигателя, кратковременной и длительной перегрузки*

Диаграмма работы реле для случая защиты электродвигателя от механических перегрузок (ударов) со стороны ротора приведена на рисунке 5.21. Как отмечалось выше, для реализации реле защитной функции от механических ударов необходимо на диске O-TIME выбрать уставку, соответствующую минимальному значению, что обеспечивает отключение в течение 0,3 с (рис. 5.21).

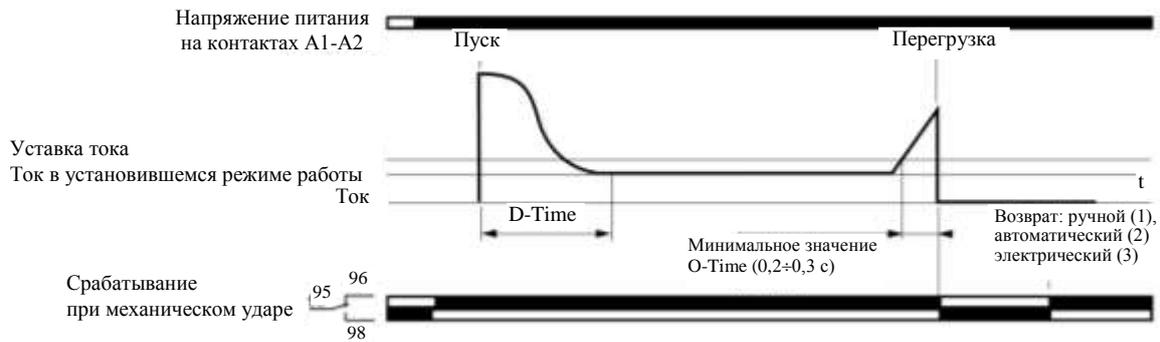


Рис. 5.21. Диаграмма работы реле LR97 D при механических перегрузках со стороны ротора электродвигателя

Суть схемы подключения любого МП сводится к управлению питанием его катушки. Известно, что срабатывание и отключение МП (втягивание и возврат силовых контактов) происходит замыканием и размыканием цепи питания катушки.

Схема подключения магнитного пускателя с катушкой управления на напряжение 220 В приведена на рисунке 5.22.

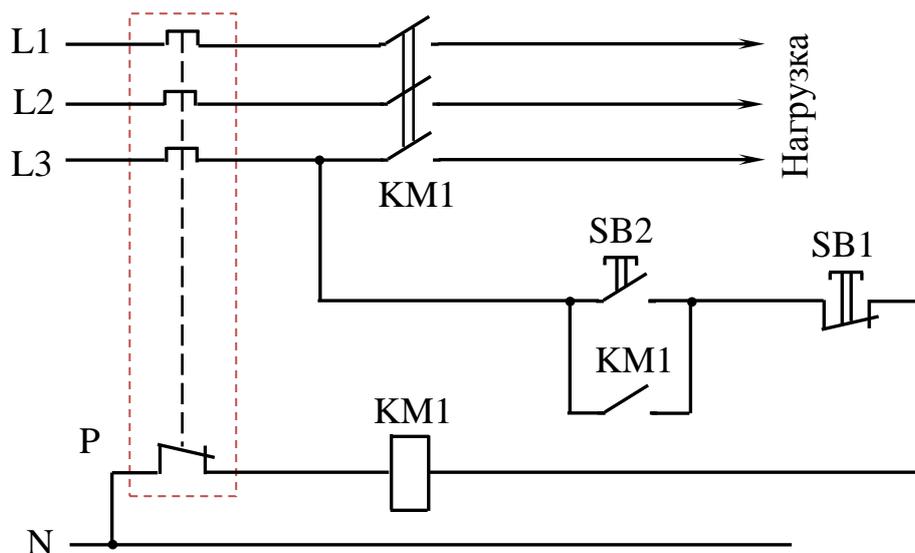


Рис. 5.22. Принципиальная электронная схема подключения магнитного пускателя

Питание на катушку магнитного пускателя KM1 поступает через контакты последовательно включенных в ее цепь кнопки «Пуск» – SB2, «Стоп» SB1 и теплового реле P. При нажатии на кнопку «Пуск» ее контакты замыкаются и питание на катушку поступает далее через замкнутые контакты кнопки «Стоп». Сердечник МП притягивает якорь, замыкая силовые подвижные контакты, и на нагрузку подается напряжение.

При отпускании кнопки «Пуск» цепь катушки не разрывается, так как параллельно SB2 включен блок-контакт КМ1 с замкнутыми контактами (якорь магнитного пускателя втянут) – фазное напряжение L3 на катушку будет поступать через них.

Нажатием кнопки «Стоп» цепь питания катушки разрывается, происходит возврат группы подвижных контактов в исходное состояние и нагрузка, таким образом, оказывается обесточенной. То же самое происходит при токовой перегрузке электродвигателя, на нагревательных элементах теплового реле Р выделяется дополнительная тепловая энергия, которая приводит к срабатыванию размыкающего контакта теплового реле, прерывая, в данном случае ноль N, питающий катушку КМ1 магнитного пускателя.

Схема подключения магнитного пускателя с катушкой на 380 В приведена на рисунке 5.23.

Различия этих двух схем подключения МП состоят лишь в питающем напряжении катушки. В первом случае, при подключении МП с рабочим напряжением катушки 220 В, для ее питания были использованы ноль и фаза L3, во втором – две питающие фазы L2 и L3.

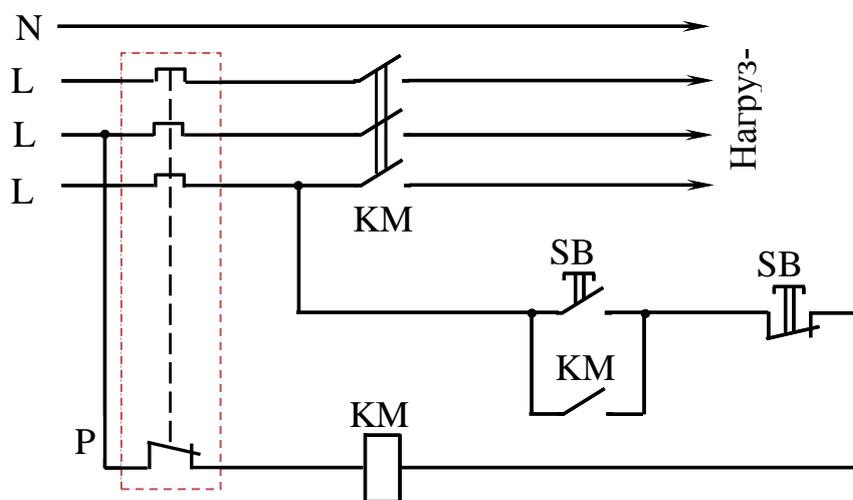


Рис. 5.23.

*Схема подключения магнитного пускателя с катушкой на 380В*

Реверсивная схема подключения электродвигателя к питающей сети с помощью МП приведена на рисунке 5.24. Подключение трехфазного электродвигателя по реверсивной схеме бывает востребовано в случаях, когда в процессе его эксплуатации необходимо оперативно изменять направление вращения вала. В отличие от обычной схемы подключения, данная схема содержит два магнитных пускателя, две кнопки «Пуск» и одну «Стоп».

Изменение направления вращения вала электродвигателя происходит за счет изменения фазировки (порядка подключения фаз) в его электропитании и задается нажатием кнопки «Пуск1» или «Пуск2».

Силовые контакты магнитных пускателей КМ1 и КМ2 соединены таким образом, что при срабатывании одного из них очередность фаз в питании будет отличаться от фазировки при срабатывании другого.

Работает схема следующим образом: нажатием кнопки «Пуск1» (SB1) замыкается цепь питания катушки КМ1, происходит втягивание и замыкание силовых контактов КМ1 (на схеме выделены пунктиром) и питание с очередностью фаз L1, L2, L3 поступает на клеммы электродвигателя. Во избежание ошибочного включения кнопки «Пуск2», в цепь катушки КМ1 последовательно включен нормально закрытый блок-контакт второго магнитного пускателя КМ2.

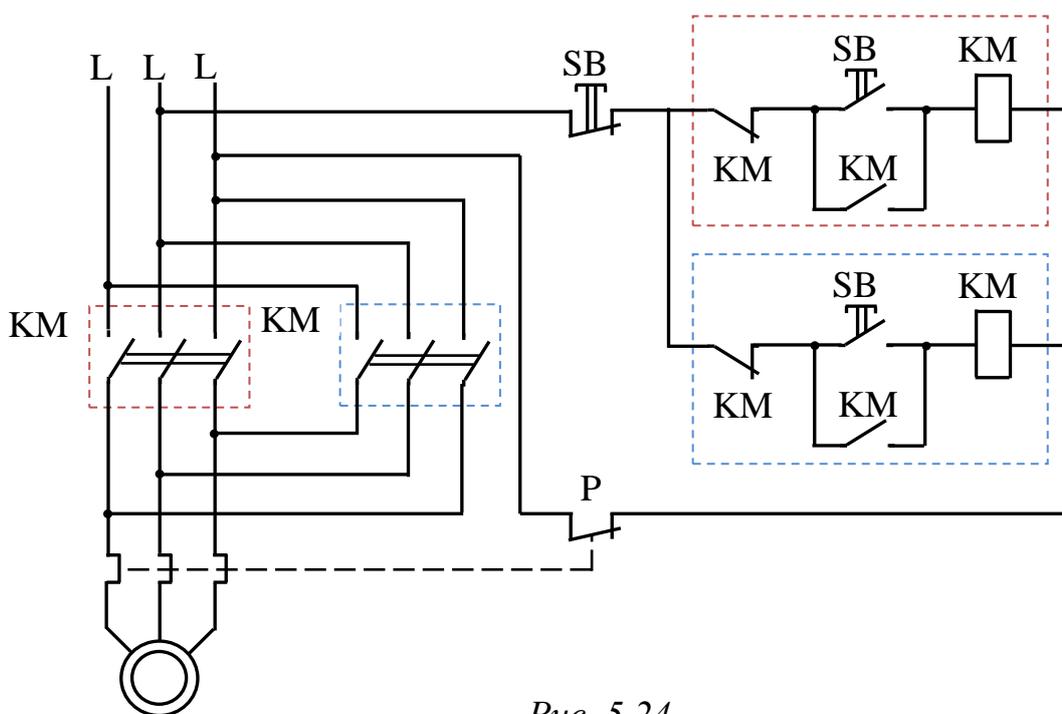


Рис. 5.24.

*Реверсивная схема подключения электродвигателя к питающей сети с помощью МП*

Остановка двигателя производится нажатием кнопки «Стоп» (SB3) – ее контакты «разрывают» питающую фазу катушки L3. Прерывание питания катушки КМ1 приводит к возврату подвижных силовых контактов этого МП в исходное положение, таким образом, электродвигатель оказывается отключенным.

Нажатием кнопки «Пуск2» (SB2) по аналогии замыкается цепь питания катушки КМ2, происходит втягивание и замыкание силовых контактов КМ2 (на схеме выделены синим цветом) и питание, теперь

уже с очередностью фаз L3, L2, L1, поступает на клеммы электродвигателя. Таким образом, вращаться вал электродвигателя теперь будет в противоположном направлении.

Блокировка магнитного пускателя КМ1, в случае ошибочного включения кнопки «Пуск1», здесь также осуществляется последовательным включением в цепь питания катушки нормально закрытого блок-контакта другого МП. В данном случае в цепь КМ2 последовательно включен нормально закрытый блок-контакт КМ1.

Электрическая принципиальная схема нереверсивного МП с реле, со встроенными в оболочку кнопками управления и сигнальными лампами приведена на рисунке 5.25.

Подачей коммутационным аппаратом из распределительного щита (автоматическим выключателем, рубильником) напряжения на клеммы трехполюсного автоматического выключателя QF (светится красная сигнальная лампа HL1) осуществляется подготовка к работе схемы.

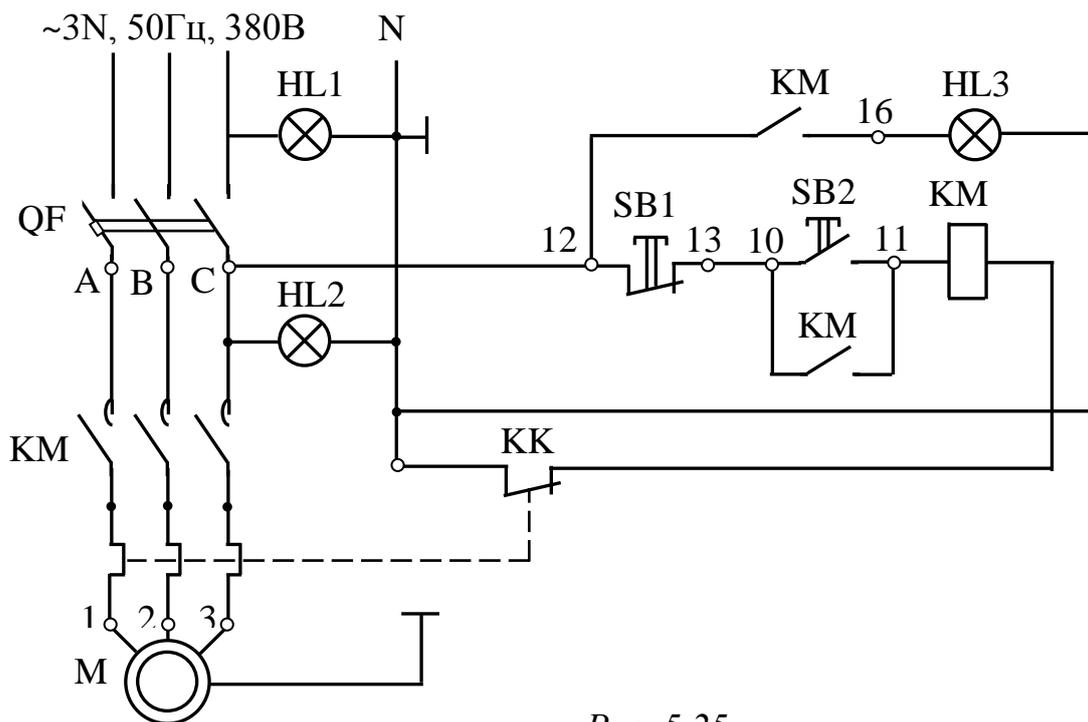


Рис. 5.25.

*Нереверсивная схема подключения электродвигателя к питающей сети с помощью МП*

После включения автоматического выключателя (светится зеленая сигнальная лампа HL2) напряжение подается на его клеммы и на главные замыкающие контакты магнитного пускателя КМ. Катушка магнитного пускателя КМ подключается к сети через контакты теплового реле и кнопок управления «Пуск»(SB2) и «Стоп»(SB1). При на-

жати кнопки «Пуск» напряжение на катушку магнитного пускателя КМ подается через замкнутые контакты кнопки «Стоп» и замкнутые контакты теплового реле КК. Электрический ток проходит по катушке КМ, создает магнитное поле, которое притягивает якорь к сердечнику, и тем самым замыкает главные и вспомогательные контакты магнитного пускателя КМ, шунтирующие замыкающие контакты кнопки «Пуск», которую после этого можно отпустить. Напряжение подается на обмотки электродвигателя М, и осуществляется его пуск, о чем сигнализирует лампа НЛ3.

Для отключения электродвигателя нажимается кнопка «Стоп». Катушка теряет питание, после чего якорь под действием возвратных пружин отходит от сердечника, и контакты размыкаются.

При токовой перегрузке электродвигателя на нагревательных элементах теплового реле КК выделяется дополнительная тепловая энергия, которая приводит к срабатыванию размыкающего контакта теплового реле КК, и цепь катушки КМ размыкается.

Электрическая принципиальная схема реверсивного МП с реле, со встроенными в оболочку кнопками управления и сигнальными лампами приведена на рисунке 5.26.

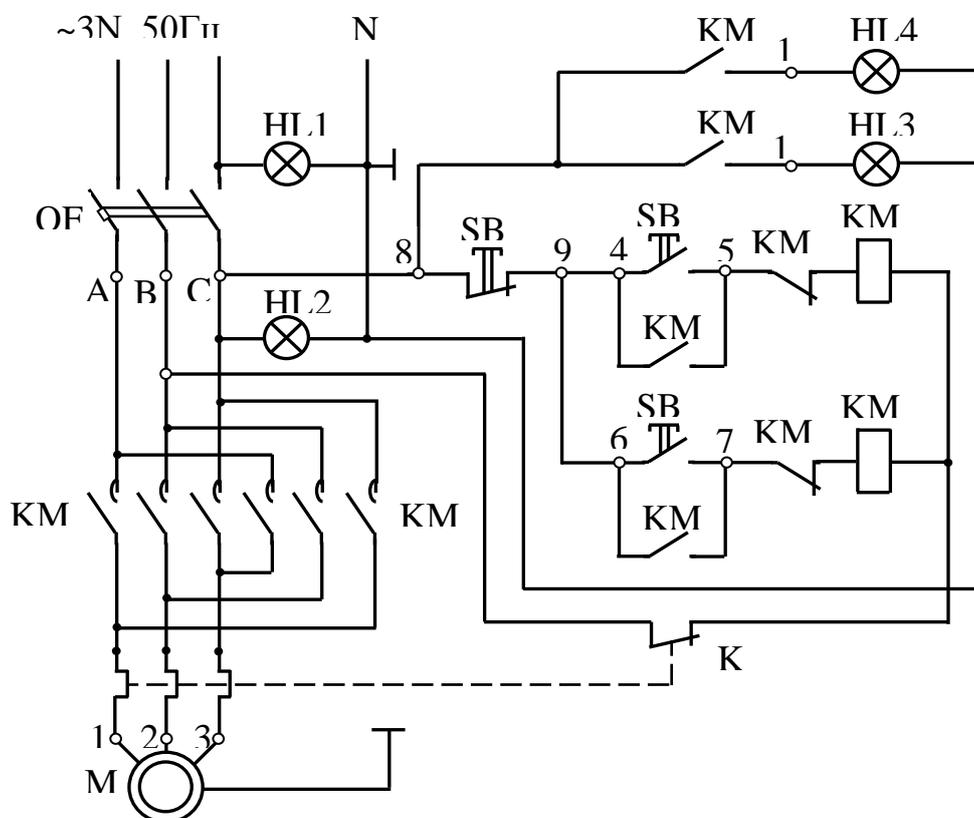


Рис. 5.26.

Электрическая принципиальная схема реверсивного МП с реле, со встроенными в оболочку кнопками управления и сигнальными лампами

При нажатии кнопки «Вперед» (SB2) напряжение 380 В на катушку магнитного пускателя КМ1 подается через замкнутые контакты кнопки «Стоп»(SB1) и замкнутые контакты теплового реле КК. Электрический ток управления проходит по катушке КМ1, создает магнитное поле, которое притягивает якорь к сердечнику, и тем самым замыкает главные и вспомогательные контакты магнитного пускателя КМ1, шунтирующие замыкающие контакты кнопки «Вперед». Напряжение подается на обмотки электродвигателя М, и осуществляется его пуск, о чем сигнализирует лампа НЛ3. Для отключения электродвигателя нажимается кнопка «Стоп».

Изменение направления вращения ротора электродвигателя осуществляется при нажатии кнопки «Назад»(SB3). При этом электрический ток управления проходит по катушке КМ2, замыкаются главные и вспомогательные контакты магнитного пускателя КМ2, шунтирующие замыкающие контакты кнопки SB3. Напряжение подается на обмотки электродвигателя М (светится лампа НЛ4), но при этом меняется направление вращения магнитного поля (напряжение фазы «А» подается на клемму – «3», а напряжение фазы «С» – на клемму «1» электродвигателя), то есть изменяется порядок чередования фаз.

Во избежание ошибочного включения кнопки «Назад», в цепь катушки КМ1 последовательно включен нормально закрытый блок-контакт второго магнитного пускателя КМ2.

Наличие механической блокировки в конструкции реверсивного МП предотвращает возникновение короткого замыкания между фазами при одновременном замыкании главных замыкающих контактов магнитных пускателей КМ1 и КМ2. Благодаря этому появление напряжения на катушке второго контактора не приводит к его срабатыванию. Кроме того, после включения магнитного пускателя КМ1 размыкающим контактом КМ1 разрывается цепь катушки магнитного пускателя КМ2, и при нажатии кнопки SB3 не произойдет никаких аварийных режимов. Аналогичная электрическая блокировка есть в цепи катушки КМ1 (размыкающий контакт КМ2).

Следует отметить, что электрическая блокировка может быть выполнена путем использования размыкающих контактов кнопок «Вперед» и «Назад», которые включают вместо размыкающих контактов КМ1 и КМ2, например, при отсутствии размыкающих контактов в конструкции МП. Тогда при нажатии кнопки SB2 разрывается цепь питания катушки КМ2 и при нажатии на кнопку SB3 катушка КМ2 останется обесточенной.

Высокий коэффициент возврата электромагнитов контакторов переменного тока позволяет защищать от понижения напряжения сети (электромагнит отпускает при  $U = (0,6-0,7) \cdot U_{\text{НОМ}}$ ). При восстановлении напряжения сети до номинального значения самопроизвольное включение МП не происходит, т.к. замыкающие блок-контакты КМ1 и КМ2 и замыкающие контакты кнопок «Вперед» и «Назад» – разомкнуты.

В схеме предусмотрено зануление – корпус электродвигателя соединен с нейтралью N. В случае пробоя изоляции электродвигателя или питающего кабеля на корпус, в схеме возникнет режим короткого замыкания (через цепь «фаза – корпус – нуль» будет протекать ток короткого замыкания), что приведет к срабатыванию электромагнитного расцепителя автоматического выключателя QF. Автоматический выключатель обесточит схему.

### Порядок выполнения работы

1. Используя магнитные пускатели, размещенные на лабораторном стенде, изучите их конструкцию.
2. Изучите монтажную схему (рис. 5.27) реверсивного магнитного пускателя ПМЛ-2501О4, размещенного на лабораторном стенде.

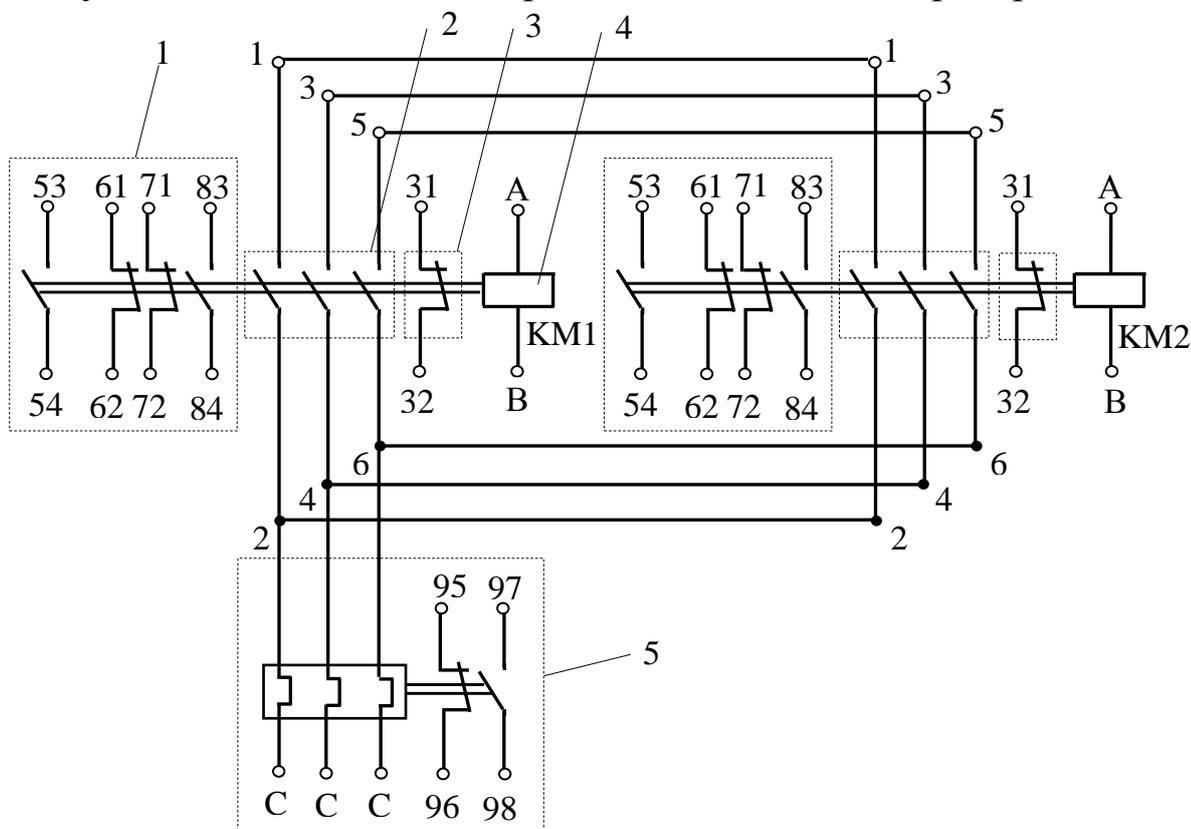


Рис. 5.27.

Монтажная схема реверсивного магнитного пускателя ПМЛ-2501О4

3. Изучите схему управления трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью нереверсивного МП (рис. 5.25). **Прежде чем начать собирать электрическую схему, убедитесь в том, что отключен автоматический выключатель QF, расположенный в левом верхнем углу стенда. Убедитесь в целостности лабораторного оборудования и соединительных проводов.**

4. Монтажными проводами произведите коммутацию между соответствующими зажимами блока зажимов на лабораторном стенде согласно рисунку 5.25. Выходные клеммы автоматического выключателя QF выведены на блок зажимов (зажимы А, В и С соответственно), расположенный в нижней части стенда. Клеммы кнопок «Стоп» и «Пуск» соединены с зажимами 12, 13 и 10, 11 соответственно. Начала обмоток электродвигателя выведены на зажимы 1, 2 и 3. Один контакт сигнальной лампы HL3 соединен с нейтралью N, а второй – с зажимом 16.

5. **После проверки преподавателем схемы** осуществите управление трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью нереверсивного МП, как описано выше. **Во избежание поражения электрическим током касаться руками клемм, других токоведущих деталей категорически запрещается. После успешного пуска и остановки электродвигателя отключите автоматический выключатель QF.**

**При возникновении аварийных ситуаций: гудении электродвигателя (например, при не полнофазном режиме работы), появлении запаха дыма и возникновении прочих аварийных режимов немедленно отключите автоматический выключатель QF и сообщите о неисправности лаборанту или преподавателю.**

6. Изучите схему управления трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью реверсивного МП (рис. 5.26).

7. Монтажными проводами произведите коммутацию между соответствующими зажимами блока зажимов на лабораторном стенде (рис. 5.26).

8. **После проверки преподавателем схемы**, осуществите управление трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью реверсивного МП, как описано выше. Доложите о работе схем преподавателю. Обесточьте стенд. С согласия преподавателя отсоедините монтажные провода от блока зажимов стенда. Соберите монтажные провода и сдайте лаборанту.

## Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Монтажная схема магнитного пускателя ПМЛ-2501О4.
3. Принципиальные электрические схемы управления трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью магнитного пускателя 5.25 и 5.26.

## Контрольные вопросы

1. Расшифруйте название магнитного пускателя ПМЛ-1631О4А.
2. Что может входить в комплект пускателя ПМЛ?
3. Расшифруйте название приставки ПКЛ11О4.
4. Как устроен магнитный пускатель ПМЛ?
5. Как устроен магнитный пускатель ПМУ?
6. Из каких частей состоит реверсивный магнитный пускатель с тепловым реле?
7. Какие меры предусмотрены в схемах для защиты от аварийных режимов?
8. Для чего предназначен реверсивный магнитный пускатель?
9. Каким способом изменяется направление вращения электродвигателя?
10. Для чего в конструкции реверсивного пускателя серии ПМЛ предусмотрена механическая блокировка?
11. Выберите МП серий ПМЛ и ПМУ для реверсивного пуска электродвигателя серий 5А и АИР (табл. 5.5), указанного преподавателем.

Таблица 5.5

## Варианты индивидуального задания

№ п/п	Типоразмер электродвигателя	$P_{2\text{ном}}$ , кВт	$\cos\varphi$	КПД
1	5А80МА4	1,1	0,8	0,74
2	5А80МВ4	1,5	0,81	0,76
3	5А112М4	5,5	0,83	0,86
4	АИРМ132S4	7,5	0,85	0,88
5	АИРМ132М4	11,0	0,85	0,89
6	5А160S4	15,0	0,86	0,895
7	5А160М4	18,5	0,86	0,90
8	АИР180S4	22,0	0,86	0,905

9	АИР180М4	30,0	0,87	0,915
10	5А220М4	37,0	0,85	0,923
11	5А220L4	45,0	0,84	0,927
12	5А225М4	55,0	0,86	0,933

### Библиографический список

1. Правила устройства электроустановок [Текст]: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 464 с.
2. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. для вузов / И.Р. Владыкин, А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева [и др.] – М.: Изд-во «КолосС», 2007.
3. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учеб. пособие для проф. учеб. заведений / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Высш. шк., 2003.
4. Акимова Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: учеб. пособие / Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин; под ред. Н.Ф. Котеленца. – 3-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2005
5. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие: в 2 кн. Кн. 2 / А.Г. Черных, А.Д. Епифанов, И.В. Алтухов. – 3-е изд., испр. и доп. – Иркутск: Иркутск.гос. сельхоз. акад., 2013. – 235 с.
6. ОАО «Кашинский завод электроаппаратуры» [Официальный сайт] Url: <http://www.kzeap.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
7. «ГК «ЧЭАЗ» – Группа компаний «Чебоксарский электроаппаратный завод» [Официальный сайт] Url: <http://www.cheaz.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
8. EKFelectrotechnica [Официальный сайт] Url: <http://ekfgroup.com/produktsiya> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
9. Компания Schneider-electric [Официальный сайт] Url: <http://www.schneider-electric.com/ru/ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
10. Компания GeneralElectric [Официальный сайт] Url: <http://www.ge.com/ru/> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
11. Компания Moeller [Официальный сайт] Url: <http://www.moeller.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
12. Компания АВВ [Официальный сайт] Url: <http://www.abb.ru/product/ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

13. Siemens – Электротехническая продукция [Официальный сайт] Url: <http://electrosiemens.ru>(дата обращения 1 сентября 2015 г.).
14. Компания Legrand [Официальный сайт] Url: <http://www.legrand-russia.ru>(дата обращения 1 сентября 2015 г.).
15. Компания Hager [Официальный сайт] Url: <http://www.hagersystems.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
16. ОАО «Контактор» – Ульяновск [Официальный сайт] Url: <http://www.kontaktor.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
17. КЭАЗ – Курский электроаппаратный завод [Официальный сайт] Url: <http://keaz.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
18. ИЕК – Интер электро комплект [Официальный сайт] Url: <http://www.iek.ru>(дата обращения 1 сентября 2015 г.).
19. ООО «ПК «ВЭМЗ»» Владимирский электромоторный завод [Официальный сайт] Url: <http://www.vemp.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

## Лабораторная работа 6

### ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ РЕЛЕ

#### Цель работы

Изучить устройство и принцип действия тепловых реле.

Освоить методику исследования защитных характеристик и приемы настройки тепловых реле.

#### Задание к работе

1. Изучить устройство и принцип действия тепловых реле.
2. Снять защитные характеристики теплового реле.
3. Настроить с помощью стенда тепловое реле для защиты электродвигателя от перегрузки.
4. По индивидуальному заданию преподавателя выбрать тепловое реле для защиты электродвигателя от аварийных режимов.

#### Общие сведения

Чтобы правильно защитить электродвигатели от аварийных режимов, необходимо знать основные причины их отказов. Основные аварийные режимы возникают из-за [1, 2]:

- обрыва фазы (ОФ) – 40–50 %;
- заторможения ротора (ЗР) – 20–25 %;
- технологических перегрузок (ТП) – 8–10 %;
- понижения сопротивления изоляции (ПСИ) – 10–15 %;
- нарушения охлаждения (НО) – 8–10 %.

Вероятность срабатывания некоторых устройств защиты, применяемых в сельском хозяйстве, от основных аварийных режимов электродвигателей приведена в таблице 6.1.

Как видно из таблицы 6.1, для защиты электродвигателей от технологических перегрузок, а также от обрыва фазы и заторможения ротора с успехом могут быть использованы тепловые реле, которые работают в сочетании с магнитным пускателем.

Для защиты электрооборудования от перегрузки по току широкое применение нашли тепловые реле типов РТ, ТРН, ТРП, РТЭ, РТТ, РТЛ, РТЛ.У [4–15].

Тепловые реле типа ТРН сняты с производства, одно еще достаточное количество их эксплуатируется в сельском хозяйстве.

Тепловое реле состоит из биметаллической пластинки, нагревательного элемента, контактов с пружиной и защелкой (рис. 6.1) [2, 3].

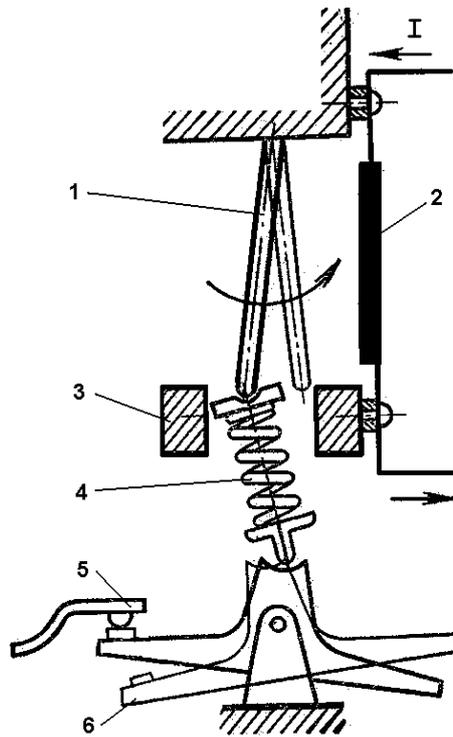
Таблица 6.1

**Вероятность срабатывания некоторых устройств защиты  
в зависимости от аварийных режимов работы  
электродвигателей [1]**

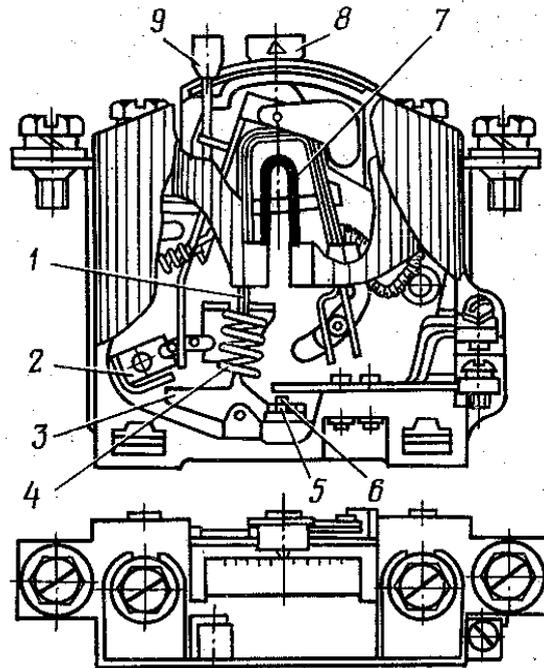
Защита	ОФ	ЗР	ТП	ПСИ	НО
Тепловые реле: ТРН	0,30	0,25	0,65	0	0
ТРН*	0,45	0,40	0,85	0	0
РТЛ	0,60	0,45	0,75	0	0
РТЛ*	0,85	0,65	0,90	0	0
Автоматические выключатели АП-50	0,50	0,40	0,70	0	0
Устройства встроенной тепловой защиты (УВТЗ-5)	0,76	0,67	0,91	0	0,91
Устройства защитного отключения по току утечки (УЗО)	0	0	0	0,95	0

\* Точно отрегулированные тепловые реле

Биметаллическая пластина состоит из двух металлов, прочно сваренных между собой по всей поверхности и имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения  $\alpha$ . Один металл (инвар) имеет малый коэффициент линейного расширения и называется пассивным. Другой (хромоникелевая сталь) имеет большой коэффициент  $\alpha$  и называется активным. При нагревании активный слой стремится удлиниться на большую величину, чем пассивный и, как следствие этого, возникает изгибающий момент.



*Рис. 6.1. Конструктивная схема теплового реле типа ТРП:  
 1 – биметаллическая пластина; 2 – нагревательный элемент;  
 3 – ограничивающие выступы; 4 – пружина; 5 – неподвижный контакт;  
 6 – прыгающий контакт*



*Рис. 6.2. Тепловое реле ТРП:  
 1 – биметаллическая пластинка; 2 – упор самовозврата;  
 3 – держатель подвижного контакта; 4 – пружина;  
 5 – подвижный контакт; 6 – неподвижный контакт;  
 7 – сменный нагреватель; 8 – регулятор тока уставки;  
 9 – кнопка ручного возврата*

Реле серии ТРП на токи 1–600 А в основном используется в магнитных пускателях серии ПА и имеет комбинированную систему нагрева. Исключение – реле ТРП-600 (рис. 6.2).

Биметаллическая пластина 1 нагревается как за счет прохождения через нее тока, так и за счет нагревателя 7. При прогибе конец биметаллической пластины воздействует на прыгающий подвижный контакт 5. Реле допускает плавную ручную регулировку тока срабатывания в пределах  $\pm 25\%$  номинального тока уставки. Эта регулировка осуществляется ручкой 8, меняющей первоначальную деформацию биметаллической пластины. Возврат реле в исходное положение после срабатывания производится кнопкой 9. Возможно исполнение и с самовозвратом после остывания биметалла. Высокая температура срабатывания (выше 200 °С) уменьшает зависимость работы реле от температуры окружающей среды.

Реле серии РТ являются аппаратами открытого исполнения с косвенной системой нагрева. Регулирование тока срабатывания реле РТ в небольших пределах осуществляется с помощью рычага, перемещение которого изменяет ход конца биметаллической пластины при нагревании до освобождения защелки. Более широкое регулирование тока срабатывания осуществляется заменой нагревательных элементов. Имеется 56 номеров нагревательных элементов на 0,64–40 А.

Реле ТРВ служит для защиты двигателей с легкими условиями пуска, выпускается 20-ти исполнений на токи до 200 А.

**Реле серии ТРН выпускаются на токи 0,5–40 А с термокомпенсацией.** Используются в основном в магнитных пускателях серии ПМЕ и ПА, имеют косвенный нагрев с помощью пластинчатых никромовых нагревателей [7].

На рисунке 6.3 приведена конструктивная схема теплового реле ТРН, предназначенного для магнитных пускателей типов ПМЕ и ПМА (табл. 6.2). Биметаллическая пластина 2 при прохождении тока, превышающего заданный, изгибается и перемещает вправо пластмассовый толкатель 11, связанный жестко с биметаллической пластиной 3, выполняющей роль температурного компенсатора. Отклоняясь вправо, пластина 3 нажимает на защелку 8 и выводит ее из зацепления с пластмассовым движком 5 уставок, в результате чего под действием

пружины 10 пластмассовая штанга 7 расцепителя отходит кверху (показана пунктиром) и размыкает контакты 9 в цепи управления магнитным пускателем. Движок уставок можно перемещать, поворачивая эксцентрик 4 и изменяя расстояние между концами пластины 3 и защелкой 8, а значит, и ток срабатывания реле.

Температурная компенсация заключается в том, что изгибанию биметаллической пластины 2 при изменении окружающей среды соответствует противоположное по направлению изгибание пластины компенсатора 3. Таким образом достигается независимость тока уставки от окружающей температуры. Ток уставки можно менять в пределах от 0,75 до 1,3 номинального тока нагревательного элемента.

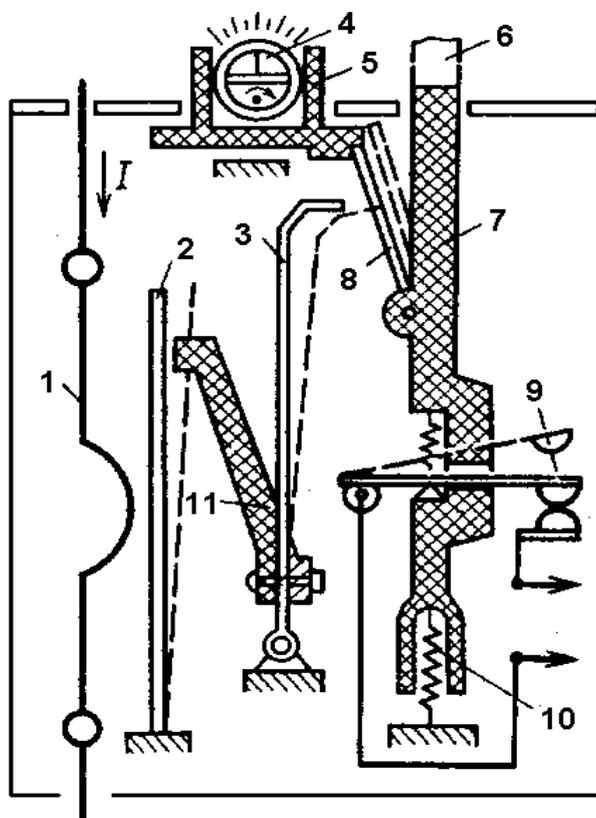


Рис. 6.3. Конструктивная схема теплового реле типа ТРН:  
 1 – нагревательный элемент; 2 – биметаллическая пластина;  
 3 – биметаллическая пластина температурного компенсатора;  
 4 – эксцентрик; 5 – движок уставки; 6 – кнопка «Возврат»;  
 7 – штанга расцепителя (тяги); 8 – защелка;  
 9 – контакты; 10 – пружина; 11 – толкатель

Таблица 6.2

**Значения номинальных токов сменных нагревательных элементов тепловых реле типа ТРН и ТРП [1]**

Реле	Максимальное значение $I_n$ нагрузки (А)	$I_n$ сменных нагревательных элементов, А
ТРН-10А	3,2	0,31; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,1; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2
ТРН-10	10	0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8; 10
ТРН-25	25	5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25
ТРН-40	40	12,5; 16; 20; 25; 32; 40
ТРП-25	25	1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 15; 20
ТРП-60	60	20; 25; 30; 40; 50; 60

В сельском хозяйстве находят применение более совершенные трехполюсные тепловые реле типов РТЛ (табл. 6.3) и РТТ (табл. 6.4) [3–6].

Таблица 6.3

**Диапазоны регулировок и максимальные значения номинальных токов ( $I_n$ ) реле типа РТЛ [6]**

Тепловые реле	Максимальное значение $I_n$ при $t_{\text{окр.среды}} +40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , А	Диапазон регулировок $I_n$ , А	Тепловые реле	Максимальное значение $I_n$ при $t_{\text{окр.среды}} +40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , А	Диапазон регулировок $I_n$ , А
1	2	3	4	5	6
РТЛ-100104	0,17	0,1–0,17	РТЛ-102104	19	13–19
РТЛ-100204	0,26	0,16–0,26	РТЛ-102204	25	18–25
РТЛ-100304	0,4	0,24–0,4	РТЛ-205304	30	23–32
РТЛ-100404	0,65	0,38–0,65	РТЛ-205504	40	30–41
РТЛ-100504	1,0	0,61–1,0	РТЛ-205704	50	38–52

1	2	3	4	5	6
РТЛ-100604	1,6	0,95–1,6	РТЛ-205904	57	47–64
РТЛ-100704	2,6	1,5–2,6	РТЛ-206104	66	54–74
РТЛ-100804	4,0	2,4–4,0	РТЛ-206304	80	63–86
РТЛ-101004	6,0	3,8–6,0	РТЛ-310504	105	75–105
РТЛ-101204	8,0	5,5–8,0	РТЛ-312504	125	90–125
РТЛ-101404	10	7,0–10	РТЛ-326004	160	115–160
РТЛ-101604	14	9,5–14	РТЛ-320004	200	145–200

Таблица 6.4

**Максимальные значения  $I_n$ , диапазон их регулировок и  $I_n$  сменных нагревательных элементов тепловых реле РТТ [6]**

Реле	Максимальное значения $I_n$ , А	Диапазон регулировок $I_n$ , А	$I_n$ сменных нагревательных элементов, А
РТТ-11, РТТ-12*	10	0,85–1,15	0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4; 6,3; 8; 10
РТТ-21, РТТ-22*	63	0,85–1,15	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
РТТ-31, РТТ-31*	160	0,85–1,15	63; 80; 100; 125; 160

\*Эти модификации устанавливаются только в коробках магнитных пускателей.

**Тепловые реле типа РТЛ** имеют: три полюса; температурный компенсатор; механизм для ускоренного срабатывания при обрыве фазы; регулятор тока несрабатывания; ручной возврат; один размыкающий и один замыкающий контакты; переднее присоединение проводов; несменные нагревательные элементы.

Тепловые реле РТЭ [4] выпускается в трех типоразмерах, с диапазоном по току уставки теплового расцепителя от 0,4 до 93 А. Наличие двух пар дополнительных контактов, нормально замкнутых и нормально открытых, значительно облегчает проектирование схем управления. Эти контакты могут использоваться как для самодиагностики устройства, так и для командных цепей. Диапазоны регулировок токов реле типа РТЭ приведены в таблице 6.5.

Только правильно отрегулированные тепловые реле могут защитить электродвигатели от перегрузок. Поэтому рассмотрим **методы регулировки реле** [1]. Уставки регулировки теплового реле можно определить расчетом в такой последовательности:

1. Определяют уставку реле без температурной компенсации:

$$N_1 = (I_{н\ дв} - I_{нэ})/cI_{нэ}, \quad (6.1)$$

где  $I_{н\ дв}$  – номинальный ток нагрузки электродвигателя;

$I_{нэ}$  – номинальный ток нагревательного элемента теплового реле;

$c$  – коэффициент деления шкалы ( $c = 0,05$ ).

2. Вычисляют поправку на температуру окружающей среды:

$$N_2 = (T - 30)/10, \quad (6.2)$$

где  $T$  – температура окружающей среды, °С.

3. Поправка необходима в тех случаях, когда температура окружающей среды ниже максимальной (40 °С) более чем на 10 °С. При значительном изменении температуры окружающей среды (зимой и летом) тепловое реле следует отрегулировать вновь. Находят суммарную уставку реле:

$$N = N_1 + N_2, \quad (6.3)$$

которая может быть со знаком «+» или «-». Затем на полученном делении шкалы устанавливают стрелочку регулировочного винта или рычаг.

## Внешний вид и диапазоны регулировок токов реле типа РТЭ [4]

Изображение	Наименование	Диапазон регулировки, А	Номинальное рабочее напряжение $U_e$ , В
	РТЭ-1304	0,4–0,63	660
	РТЭ-1305	0,63–1	
	РТЭ-1306	1–1,6	
	РТЭ-1307	1,6–2,5	
	РТЭ-1308	2,5–4	
	РТЭ-1310	4–6	
	РТЭ-1312	5,5–8	
	РТЭ-1314	7–10	
	РТЭ-1316	9–13	
	РТЭ-1321	12–18	
	РТЭ-1322	17–25	
	РТЭ-2353	23–32	660
	РТЭ-2355	30–40	
	РТЭ-3353	23–32	660
	РТЭ-3355	30–40	
	РТЭ-3357	37–50	
	РТЭ-3359	48–65	
	РТЭ-3361	55–70	
	РТЭ-3363	63–80	
	РТЭ-3365	80–93	

Часто электродвигатели и их пускозащитная аппаратура находятся в различных температурных условиях, например, электродвигатель установлен внутри животноводческого помещения, а пускозащитная аппаратура – снаружи. В этих случаях правильно отрегулировать тепловое реле почти невозможно.

Корректировкой уставки, полученной в результате расчета делений шкалы, можно провести приближенную регулировку тепловых реле. Для их точной регулировки применяют специальные приспособления – стенды.

**В сельскохозяйственном производстве в основном используются электродвигатели мощностью до 30 кВт.** Для их защиты применяют различные тепловые реле [4–15], которые регулируют при помощи приспособления, создающего ток нагрузки в пределах 0–50 А.

На рисунке 6.4 показана принципиальная электрическая **схема лабораторного стенда для проверки и регулировки тепловых реле.** Такой стенд может быть успешно изготовлен в условиях хозяйства. К вторичной обмотке маломощного нагрузочного трансформатора TV2 подключаются нагревательные элементы тепловых реле (КК1 и КК2). Напряжение первичной обмотки плавно регулируется лабораторным автотрансформатором (ЛАТР) TV1. Ток нагрузки теплового реле КК1 фиксируется амперметром pA (рис. 6.4, а).

Ток нагрузки реле КК2 фиксируется амперметром pA, включенным во вторичную цепь через трансформатор тока Т1 (рис. 6.4, б).

Так как трансформатор TV2 нагружен малым сопротивлением нагревательного элемента теплового реле и во вторичной цепи течет большой ток, вторичная обмотка трансформатора должна быть выполнена из провода большого сечения, рассчитанного на ток нагрузки 50 А. Число витков вторичной обмотки нагрузочного трансформатора выбирают из условия, что необходимо получить достаточное напряжение для регулировки маломощных тепловых реле, например, ТРН-10 А, нагревательные элементы которых имеют относительно большое сопротивление. Из этих условий определяется значение максимального вторичного напряжения порядка 4 В.

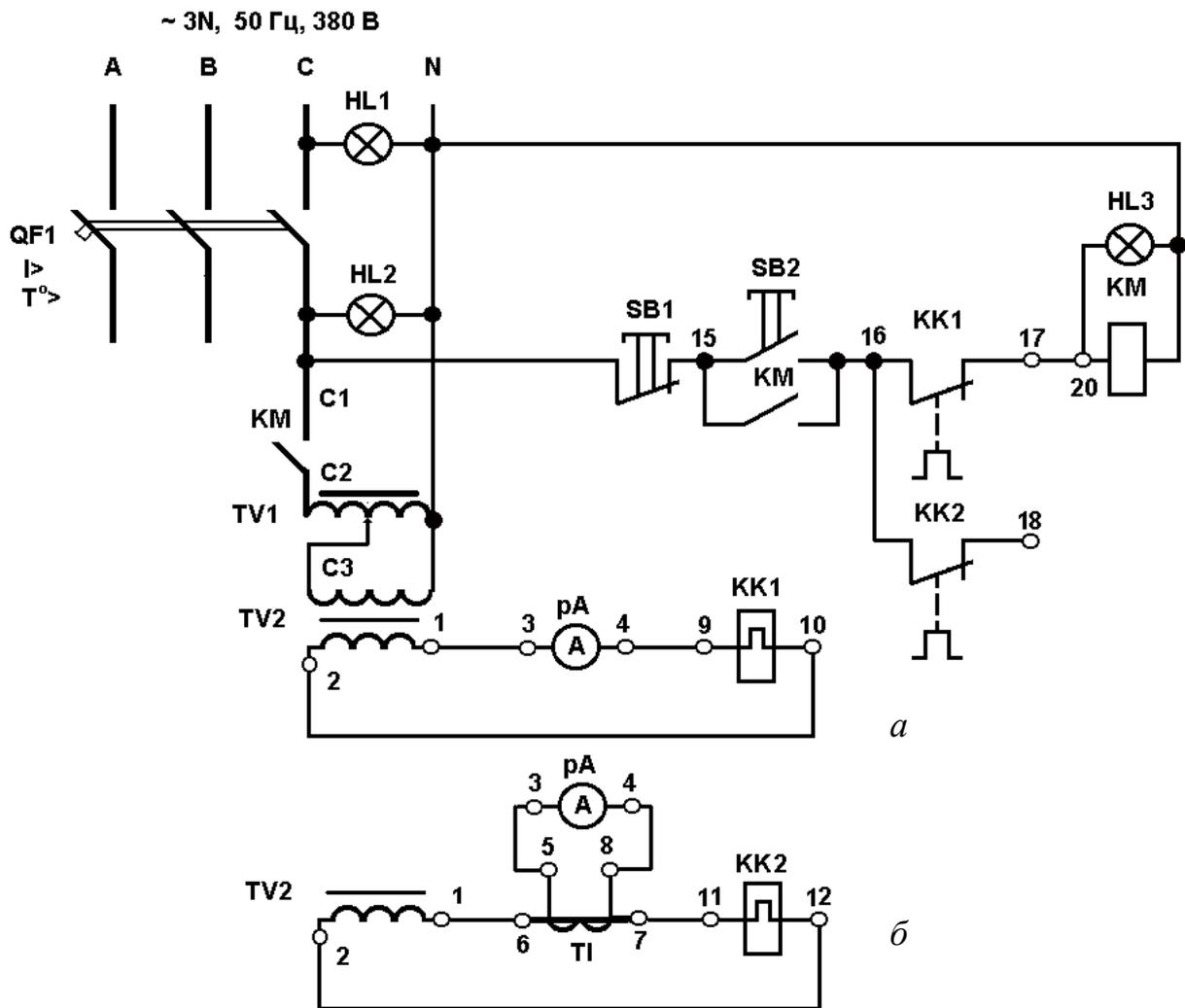


Рис. 6.4. Принципиальная электрическая схема для проверки и регулировки тепловых реле

Тепловое реле, например, типа ТРН проверяют следующим образом. Напряжение на схему подают через контакты КМ магнитного пускателя путем нажатия кнопки SB1 «Пуск». К вторичной обмотке нагрузочного трансформатора TV2 подключают сначала один нагревательный элемент КК1, а контакты теплового реле КК1 включают в цепь сигнальной лампы HL3. Ручку автотрансформатора TV1 устанавливают в нулевое положение и подают напряжение. Затем поворотом ручки вправо устанавливают ток  $I = 1,5 I_{н\ дв}$  и секундомером или часами с секундной стрелкой контролируют время срабатывания реле (момент погасания сигнальной лампы HL3). Далее то же самое выполняют при подключенном втором нагревательном элементе теплового реле. Если время срабатывания теплового реле хотя бы одного из нагревательных элементов не соответствует норме, тепловое реле следует отрегулировать.

Для проверки тепловых реле следует использовать их уточненные характеристики, однозначно определяющие время срабатывания  $T$  в зависимости от значения перегрузки  $k_I$  (рис. 6.5).

Тепловое реле типа ТРН регулируют в следующем порядке:

- Реле осматривают и проверяют, нет ли механических дефектов.
- Проверяют, соответствуют ли номинальный ток нагревательных элементов реле номинальному току нагрузки защищаемого электродвигателя. При необходимости нагревательные элементы заменяют.

- Проверяют, не согнуты ли нагревательные элементы.

- Проверяют расстояние между нагревательными элементами и биметаллическими пластинками, их взаимное расположение при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Если расстояние от обоих нагревательных элементов до пластинок неодинаково, необходимо изменить положение нагревательных элементов, отпустив, а затем снова затянув винты их крепления.

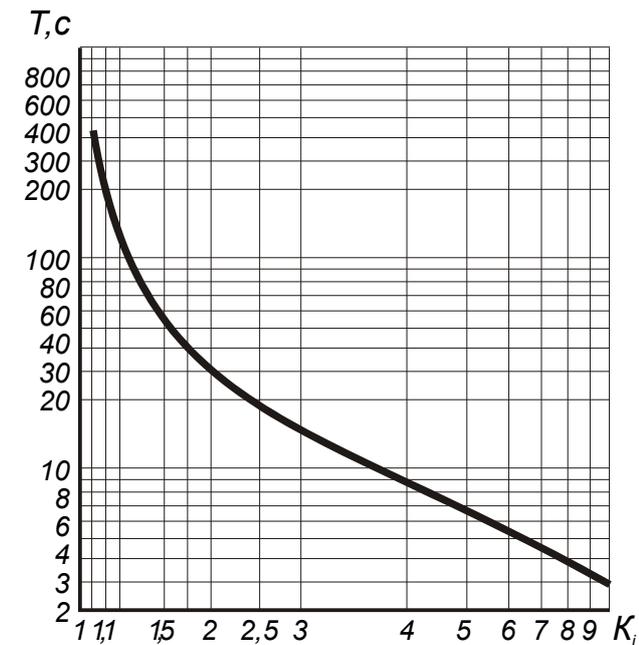
- Регулировочный эксцентрик уставок теплового реле переводят в положение «+5».

- Тепловое реле подсоединяют к регулировочному устройству (рис. 6.4) и устанавливают ток нагрузки нагревательного элемента в 1,5 раза больше номинального тока защищаемого электродвигателя.

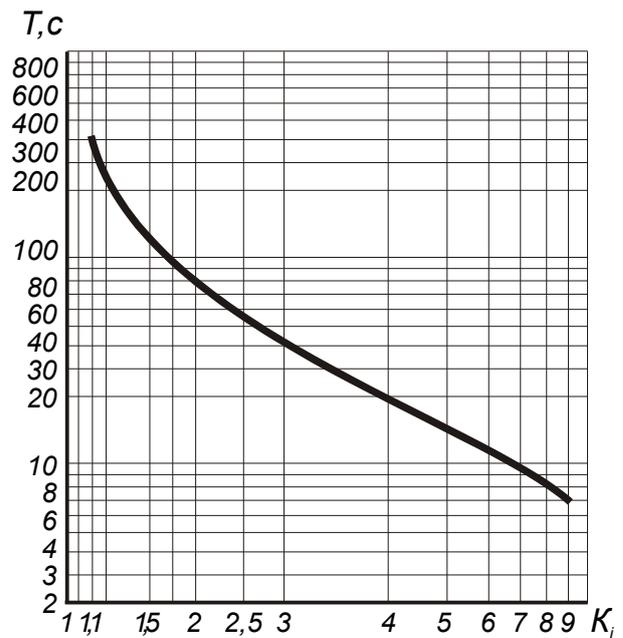
Через 145 с (70 с для теплового реле ТРН-10 А) эксцентрик плавно поворачивают в направлении к положению «-5» до срабатывания теплового реле.

После интенсивного (12–15 мин) охлаждения теплового реле (например, настольным вентилятором) к регулировочному устройству подключают второй нагревательный элемент и снова устанавливают ток нагрузки  $1,5 I_{н\text{ дв}}$ .

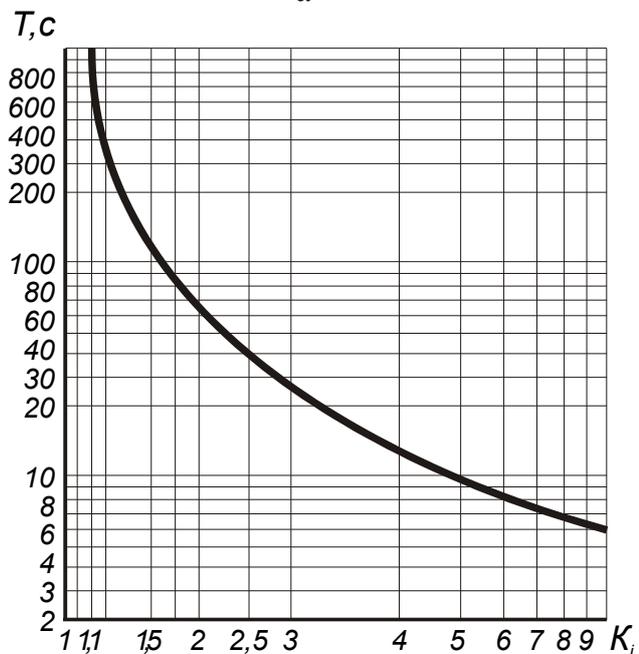
Если за 145 с (70 с для теплового реле ТРН-10 А), тепловое реле не срабатывает, плавно поворачивают регулировочный винт против хода часовой стрелки до срабатывания. Если тепловое реле сработало раньше, чем через 145 с (70 с для ТРН-10 А), регулировочный винт необходимо повернуть по ходу часовой стрелки на один оборот. Затем тепловое реле охлаждают и регулировку повторяют, чтобы оно сработало от второго нагревательного элемента за 145–150 (70–75) с.



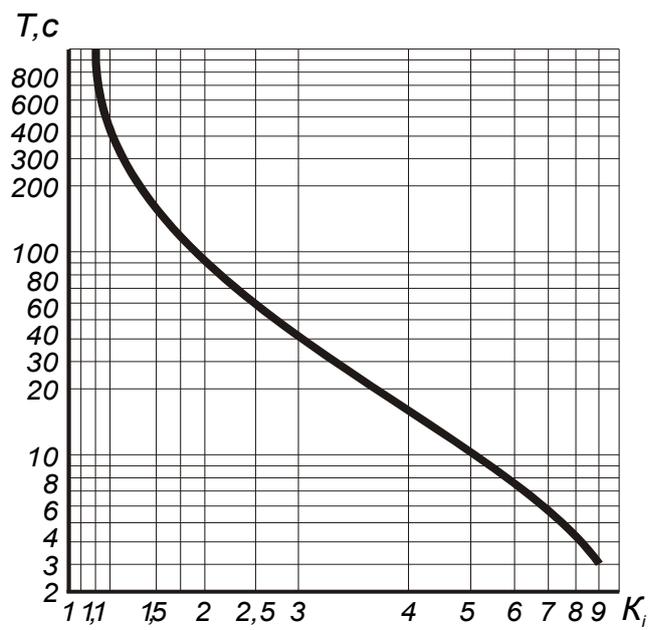
а



б



в



г

Рис. 6.5. Уточненные средние защитные характеристики для тепловых реле: а – ТРН-10(А); б – ТРН-10; ТРН-25, ТРН-40; в – ТРП-25; г – ТРП-60

Если тепловое реле будет срабатывать от обоих нагревательных элементов, то проводят окончательную его регулировку. Для этого оба нагревательных элемента соединяют последовательно и подключают к регулировочному устройству, а регулировочный эксцентрик устанавливают в положение «+5». Снова устанавливают ток нагрузки  $1,5 I_{н\text{ дв}}$  и через 145 (70) с плавно поворачивают эксцентрик по направлению к положению «-5» до срабатывания теплового реле. После этого тепловое реле будет точно отрегулировано. Если во время регу-

лировки эксцентрик находится в положении «+5», а ток в нагревательном элементе равен  $1,5 I_{н\text{ дв}}$  и тепловое реле срабатывает раньше чем за 145 (70) с, то необходимо заменить нагревательные элементы, выбирая их по большему номинальному току. Если, наоборот, при этом же токе нагрузки и положении регулировочного эксцентрика «-5» тепловое реле не срабатывает за 145 (70) с, нагревательные элементы также необходимо заменить, только выбрать их следует по меньшему номинальному току. Затем тепловое реле регулируют по рассмотренной методике.

У тщательно отрегулированных тепловых реле типа ТРП и ТРН при комнатной температуре защитные характеристики мало отличаются от уточнённых средних, однако в холодном состоянии они не обеспечивают защиту электродвигателей, заклиненных и не запустившихся при обрыве фазы.

### Порядок выполнения работы

1. Используя тепловые реле, размещенные на лабораторном стенде, а также рисунки 6.1 и 6.2, изучите их конструкцию.

2. Изучите принципиальную электрическую схему для проверки и регулировки тепловых реле (рис. 6.4). **Прежде чем начать собирать электрическую схему согласно рисунку 6.4, убедитесь в том, что отключен автоматический выключатель QF1, расположенный в левом верхнем углу стенда.**

**Убедитесь в целостности лабораторного оборудования и соединительных проводов.**

3. Монтажными проводами произведите коммутацию между соответствующими зажимами блока зажимов на лабораторном стенде согласно рисунку 6.4.

Клеммы вторичной обмотки трансформатора выведены на зажимы 1 и 2. Клеммы амперметра рА выведены на зажимы 3, 4. Трансформатор тока ТІ представлен зажимами 5–8. Нагревательные элементы теплового реле КК1 выведены на зажимы 9 и 10, а размыкающий контакт – на зажим 17. Реле КК2 – соответственно на зажимы 11, 12, 18. Подсоединение к катушке магнитного пускателя КМ осуществляется через зажим 20.

**Во избежание поражения электрическим током касаться руками клемм, других токоведущих деталей категорически запрещается.**

4. После проверки преподавателем схемы, исследуйте защитные характеристики одного из тепловых реле (КК1 или КК2), для чего:

- выведите ручку автотрансформатора TV1 в крайнее левое положение;
- установите регулировочный эксцентрик уставок теплового реле в положение «-5»;
- включите автоматический выключатель QF1;
- нажмите на кнопку «Пуск» SB2 и после подачи напряжения на схему (загорается сигнальная лампа HL3), плавно вращая ручку ЛАТРа вправо установите значение тока  $I, A$ , согласно кратности тока  $k_I$ , заданной преподавателем (табл. 6.5):

$$I = k_I I_{нз}. \quad (6.4)$$

- после нагрева биметаллической пластины и срабатывания теплового реле размыкается его контакт КК (КК1 или КК2, соответственно) в цепи катушки магнитного пускателя КМ (гаснет сигнальная лампа HL3), нагревательный элемент начинает остывать;

- для интенсивного охлаждения теплового реле КК предусмотрен вентилятор, питание на который подается выключателем, расположенным на стенде рядом с вентилятором;

- после охлаждения реле в течение трех минут, нажмите на кнопку «Возврат», а затем на «Пуск» SB2, одновременно с загоранием сигнальной лампы – включите секундомер или зафиксируйте время на часах с точностью до секунды;

- после размыкания контакта теплового реле определите время, за которое сработало реле, и занесите его значение в таблице 6.6;

- после охлаждения реле исследуйте его защитные характеристики при положении эксцентрика «0» и «+5», затем повторите опыты для других кратностей, указанных преподавателем.

**После успешно проведенного эксперимента отключите автоматический выключатель QF1. С согласия преподавателя отсоедините монтажные провода от блока зажимов стенда. Сдайте монтажные провода лаборанту. При возникновении аварийных ситуаций: гудении трансформаторов, появлении запаха дыма и возникновении прочих аварийных режимов немедленно отключите автоматический выключатель QF1 и сообщите о неисправности лаборанту или преподавателю.**

### Результаты испытания расцепителя теплового ряда

Положение эксцентрика	Время срабатывания, с				
	Кратность тока, $k_I$				
	1,5	2	2,5	3	3,5
-5					
0					
5					

### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Конструктивная схема теплового реле типа ТРН.
3. Схема для проверки и регулировки тепловых реле.
4. Таблица 6.5.
5. Времятоковая характеристика теплового реле ТРН.
6. Для двигателя, предложенного преподавателем из таблицы 6.1, подберите тепловые реле ТРН, ТРП, РТЛ и РТЭ.

### Контрольные вопросы

1. Для чего применяются тепловые реле типа ТРН?
2. Каков принцип действия реле типа ТРН?
3. Каков принцип действия реле типа ТРП?
4. Каков принцип действия реле типа РТЛ?
5. Каков принцип действия реле типа РТЭ?
6. Каковы основные факторы, влияющие на работу теплового реле ТРН?
7. Для чего в тепловых реле нужна температурная компенсация?
8. Как выполнена в тепловом реле ТРН температурная компенсация?
9. Что называется защитной характеристикой теплового реле?
10. Расскажите методику настройки теплового реле.
11. По исследованным защитным характеристикам, соответствующим нулевому положению регулятора, определите мощность электродвигателя, который можно защищать тепловым реле.

## Библиографический список

1. Школа для электрика [Электронный ресурс] URL: <http://electricalschool.info/2009/04/04/teplovyue-rele-ustrojstvo-princip.-html> (дата обращения 1 сентября 2015 г.)
2. Бастрон, А.В. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: лаборатор. практикум / А.В. Бастрон; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск 2004. – 267 с.
3. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие / А.Г. Черных, А.Д. Епифанов, И.В. Алтухов. – 3-е изд., испр. и доп. – Иркутск: Иркутск. гос. сельхоз. акад., 2013. – 235с.
4. EKFelectrotechnica [Официальный сайт] URL: <http://ekfgroup.com/produktsiya> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
5. АО НПО «ЭТАЛ» – Контактная аппаратура [Официальный сайт] URL: [www.etal.ua](http://www.etal.ua) (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
6. ОАО «Кашинский завод электроаппаратуры» [Официальный сайт] URL: <http://www.kzeap.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
7. «ГК «ЧЭАЗ» – Группа компаний «Чебоксарский электроаппаратный завод» [Официальный сайт] URL: <http://www.cheaz.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
8. ОАО «Контактор» – Ульяновск [Официальный сайт] URL: <http://www.kontaktor.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
9. КЭАЗ – Курский электроаппаратный завод [Официальный сайт] URL: <http://keaz.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
10. ИЕК – Интерэлектрокомплект [Официальный сайт] URL: <http://www.iek.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
11. Компания Schneider-electric [Официальный сайт] URL: <http://www.schneider-electric.com/ru/ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
12. Компания General Electric [Официальный сайт] URL: <http://www.ge.com/ru/> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
13. Компания ABB [Официальный сайт] URL: <http://www.abb.ru/product/ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
14. Siemens – Электротехническая продукция [Официальный сайт] URL: <http://electrosiemens.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).
15. Компания Legrand [Официальный сайт] URL: <http://www.legrand-russia.ru> (дата обращения 1 сентября 2015 г.).

## **РАЗДЕЛ 3 МОНТАЖ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **Лабораторная работа 7**

#### **МОНТАЖ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ, РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ И ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЕЙ В УСТАНОВКАХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В**

##### **Цель работы**

1. Изучить назначение и состав распределительных устройств типа РУС.
2. Ознакомиться с коммутационными аппаратами, встраиваемыми в ящики, и их электрическими схемами.
3. Научиться выполнять монтаж коммутационных аппаратов и вторичных цепей.

##### **Задание к работе**

1. Проверить наличие аппаратов, первичных и вторичных цепей РУС.
2. Выполнить монтаж недостающих участков цепей.
3. Измерить сопротивление изоляции вторичных цепей.
4. Подключить РУС к сети и электроприемнику, проверить его работу.

##### **Общие сведения**

Электроустановки состоят из совокупности машин, аппаратов, устройств, приборов, щитов и электрических цепей (шин, кабелей, проводов), которыми устройства соединены между собой.

В зависимости от назначения электрические цепи делят на первичные и вторичные. К первичным относят цепи, предназначенные для передачи и распределения электроэнергии электроприемникам (электродвигатели, электронагреватели и др.). К вторичным относят цепи, используемые для передачи токов управления, сигнализации, измерений.

Порядок соединения электрических устройств между собой определяется электрическими схемами. Наиболее часто используют

схемы: принципиальные (полные), соединений (монтажные) и подключения.

Принципиальная электрическая схема двухфидерного, нереверсивного, с переключателями на автоматический режим ящика управления типа РУС5115 (рис. 7.1) [1] определяет полный состав элементов ящика и связей между ними и дает полное представление о принципах его работы.

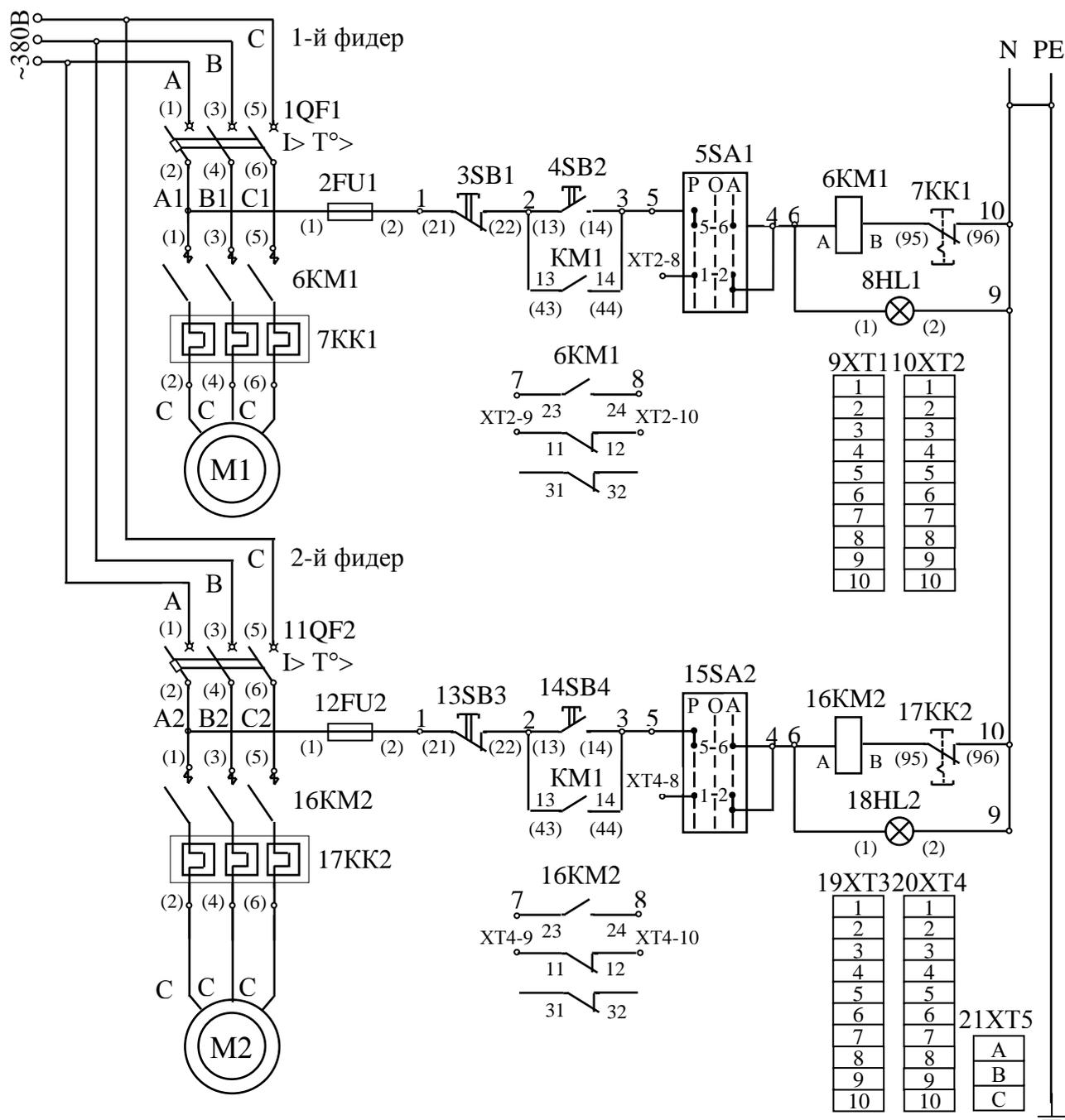


Рис. 7.1. Принципиальная схема первичных соединений ящика управления типа РУСМ5115

Электрические устройства и составляющие их элементы изображены на рисунке 7.1 в соответствии с условными графическими обозначениями, установленными ГОСТ и ЕСКД: ГОСТ 2.755-87 ЕСКД [2]. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.

Как видно из рисунка 7.1, каждое устройство или элемент схемы имеет позиционное буквенно-цифровое обозначение, которое записывают справа от графического обозначения или над ним. Прописные буквы латинского алфавита указывают вид элемента и его функцию в схеме, а арабские цифры – его порядковый номер, например, HL1 (см. рис. 7.1) – прибор световой сигнализации (лампа) [1, 3].

Сведения об элементах и устройствах схемы и расшифровку их позиционных обозначений указывают в перечне элементов, который, как правило, помещают на одном листе с принципиальной схемой или на следующем по порядку нумерации страниц листе (табл. 7.1, для рис. 7.1).

Таблица 7.1

### Перечень элементов

Условное обозначение	Наименование	Тип
QF	Выключатель автоматический	ВА-47-63, 3п
KM	Контактор	КМИ
KK	Тепловое реле	РТИ
SA	Переключатель	ПК 16-54С
SF	Кнопка управления	КУ111102, КУ111202
HL	Лампа сигнальная	АМЕ
X	Колодка клеммная	JXB
M	АД с КЗ ротором	U <sub>л</sub> < 660В

Для обозначения токопроводящих участков цепи и электрических элементов, предназначенных для подключения, применяется термин – «обозначение зажимов».

Выбор способа обозначения зажимов зависит от вида устройства, расположения зажимов, а также сложности устройства или проводки. При построении буквенно-цифровых обозначений используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры.

Зажимы электрических устройств, предназначенные для прямого или непрямого соединения с питающими проводами трехфазной системы, предпочтительно обозначать буквами U, V, W, если необходимо соблюдение последовательности фаз. Зажим, соединенный с корпусом, обозначают буквами MM, зажим эквипотенциальный – SS.

Этим обозначением пользуются только в том случае, когда соединение этого зажима с защитным проводом или землей не видно.

В соответствии с ГОСТ 2.709-89 [4] обозначения зажимов электрических устройств, присоединенных к специальным проводам, приведены в таблице 7.2.

Обозначения проводов специального вида приведены в таблице 7.3.

Кроме позиционных обозначений элементов и их зажимов, на электрических схемах обозначают номера участков электрических цепей. Обозначение участков цепей служит для их опознавания при монтаже, наладке и ремонте электрооборудования, может отражать их функциональное назначение и создает связь между схемой и устройством.

Таблица 7.2.

### Обозначения зажимов

Присоединительный зажим электрического устройства	Обозначение	
	буквенно-цифровое	графическое
Для переменного тока		
1-я фаза	U	
2-я фаза	V	
3-я фаза	W	
нейтральный провод	N	
Защитный провод	PE	По ГОСТ 2.721
Заземляющий провод	E	»
Провод бесшумового заземления	TE	»
Провод соединения с корпусом	MM	»
Провод эквипотенциальный	CC	»

При обозначении используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры, выполненные одним размером шрифта. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками машин, резисторами и другими элементами, должны иметь разное обозначение. Соединения, проходящие через неразборные, разборные и съемные контактные соединения, обозначают одинаково. Допускаются в обоснованных случаях разные обозначения. Участки цепи в схеме обозначают независимо от нумерации входных и выходных зажимов машин и устройств. Последовательность обозначения должна быть, как правило, от ввода (источника питания) к потребителю. Разветвляющиеся цепи обозначают сверху вниз в направлении слева направо.

Для удобной ориентации в схемах при обозначении участков цепей допускается оставлять резервные номера или некоторые номера пропускать.

Обозначение цепи переменного тока состоит из обозначения участков цепей фазы и последовательного номера.

Таблица 7.3

### Обозначения проводов

Наименование	Обозначение	
	буквенно-цифровое	графическое
Система питания переменного тока:		
фазный провод	L	
1-я фаза	L1	
2-я фаза	L2	
3-я фаза	L3	
нейтральный провод	N	
Система питания постоянного тока:		
положительный полюс	L+	+
отрицательный полюс	L-	-
средний провод	M	
Защитный провод с заземлением	PE	По ГОСТ
Защитный провод незаземленный	PU	2.721
Соединенный защитный и средний провод	PEN	»
Заземляющий провод	E	»
Провод бесшумового заземления	TE	»
Провод соединения с корпусом	MM	»
Провод эквипотенциальный	CC	»

Например, участки цепи:

1-й фазы – L1, L11, L12, L13 и т. д.;

2-й фазы – L2, L21, L22, L23 и т. д.;

3-й фазы – L3, L31, L32, L33 и т. д.

Допускается, если это не вызовет ошибочного подключения, обозначать фазы соответственно буквами А, В, С.

Для отличия проводов фазы или полярности, относящихся к разным потребителям, применяют последовательные номера, которые помещают перед обозначением данной фазы или полярности (например, обозначение 3L2 означает провод второй фазы, ведущей к третьему потребителю).

Допускается обозначать участки цепи последовательными числами. Допускается в обозначение цепей управления, защиты, сигнала

лизации, автоматики, измерения включать обозначения фаз. В обозначение цепи допускается включать обозначения, характеризующие функциональное назначение цепи. В этом случае последовательность чисел допускается устанавливать в пределах функциональной цепи.

На схеме обозначение проставляют около концов или в середине участка цепи: слева от изображения цепи – при вертикальном расположении цепи; над изображением цепи – при горизонтальном расположении цепи. В технически обоснованных случаях допускается проставлять обозначения над изображением цепи.

Следует отметить, что система условных обозначений (марок) – буквенных и цифровых, применяемых в схемах электрических соединений электрооборудования первичных и вторичных цепей, называется маркировкой.

Маркировка монтажных единиц и их элементов производится на стадии составления принципиальных совмещенных (полных) и (развернутых) схем. Затем эта маркировка наносится на монтажные схемы.

Согласно инструкции «Электрические аппараты и приборы. Символы. ОЛХ. 684.009-76» ВНИИР Минэлектротехпрома, 1977, монтажные символы реле, приборов и аппаратов, применяемых в заводской техдокументации и в монтажных электрических схемах, изображаются в рамках, а их зажимы – кружками с числовыми заводскими марками.

Монтажные схемы являются основными рабочими чертежами, по которым монтируются вторичные устройства и их цепи. Поэтому в монтажных схемах приводятся все необходимые для монтажа сведения: территориальное размещение вторичных аппаратов и наборных рядов зажимов, направление прокладки соединительных проводов и кабелей; технические характеристики реле, приборов, аппаратов, кабелей и проводов; сборки зажимов, а также маркировка всех устройств и приборов, кабелей, проводов, зажимов и т. д.

В процессе монтажа и наладки электроустановок выполняются исполнительные чертежи, монтажные и принципиальные схемы, содержащие все фактические соединения и маркировку (с учетом внесенных изменений).

Комплект исполнительных и принципиальных схем относится к основной технической документации.

Маркировка первичных и вторичных цепей и их элементов дает возможность:

– установления принадлежности территориально рассредоточенного оборудования, аппаратуры, приборов, кабелей и цепей к тому или иному устройству (машинный зал, ОРУ и т. п.);

– правильной ориентации во взаимосвязанных чертежах и схемах принципиальная совмещенная (полная) и монтажная схемы, установочные чертежи и т. п.;

– определения характера аппарата и его функционального назначения в схеме (например, реле защиты или сигнализации, кнопка пуска или опробования и т. п. без чертежа;

– определения принадлежности элемента к тому или иному аппарату и характера элемента (обмотка, контакт и т. п.);

– проверки цепей без прозвонки жилы провода или кабеля и обнаружения обоих ее концов, определения мест их подключения к соответствующим зажимам в случае, если она по какой-либо причине была отсоединена.

Распределение групп чисел для маркировки цепей управления переменного тока приведено в таблице 7.4.

Таблица 7.4

### Распределение групп чисел для маркировки цепей управления переменного тока

Наименование цепей	Группа чисел для обозначения цепей в пределах одной монтажной единицы			
1	2			
Основная группа чисел	(A, B, C) 1–99	(A, B, C) 101–199	(A, B, C) 201–299	(A, B, C) 301–399
Цепи управления	(A, B, C) 3–49	(A, B, C) 103–149	(A, B, C) 203–249	(A, B, C) 303–349
Цепи включения	(A, B, C) 3	(A, B, C) 103	(A, B, C) 203	(A, B, C) 303
Цепи отключения	(A, B, C) 33	(A, B, C) 133	(A, B, C) 233	(A, B, C) 333
Цепи автоматики	(A, B, C) 50–69	(A, B, C) 150–169	(A, B, C) 250–269	(A, B, C) 350–369
Цепи ламп сигнализации положения выключателей	(A, B, C) 70–79	(A, B, C) 170–179	(A, B, C) 270–279	(A, B, C) 370–379
Цепи реле фиксации команд дистанционного управления	(A, B, C) 80–89	(A, B, C) 180–189	(A, B, C) 280–289	(A, B, C) 380–389
Цепи сигналов аварийного отключения и обрыва цепей	(A, B, C) 90–99	(A, B, C) 190–199	(A, B, C) 290–299	(A, B, C) 390–399
Шинки сигнализации	(A, B, C, N) 700–709			
Индивидуальные цепи предупреждающих сигналов	(A, B, C, N) 900–999			

## ***Технические требования к монтажу***

Щиты, ящики и другое оборудование должно поставляться заводами изготовителями полностью смонтированными с аппаратами и приборами, прошедшими ревизию, регулировку и испытания [3, 5].

Все аппараты перед установкой осматривают, проверяют их исправность, комплектность, соответствие паспортных данных проектным. Удаляют консервирующую смазку, ручным способом пробуют подвижность кнопок, рукояток, контактных систем и др.

Пускорегулирующие аппараты располагают так, чтобы пуск и остановка электродвигателей происходили в поле зрения оператора. Щиты, аппараты в животноводческих зданиях устанавливают в помещениях с неагрессивной средой. Шкафы размещают так, чтобы их дверцы открывались не менее чем на  $100^\circ$ , а поворот рукояток рубильников и выключателей вверх или направо соответствовал включению аппарата, а вниз или налево – отключению. Установку шкафа выверяют по уровню и отвесу. Отдельные аппараты (пускатели, автоматы) устанавливают на высоте 1500–1700 мм от пола с отклонением их оси от вертикали не более  $5^\circ$ .

На лицевой стороне всех шкафов выполняют надписи в соответствии с рабочими чертежами. У приводов аппаратов устанавливают таблички с указанием присоединения и положения «Включено» и «Отключено». Такие же таблички устанавливают внутри шкафа, около каждого аппарата с указанием, к какому механизму они относятся.

На ключах, кнопках и рукоятках делают соответствующие надписи с указанием выполняемой ими операции («Пуск», «Стоп»), а на сигнальных лампах – таблички, указывающие характер сигнала («Сеть», «Уровень» и т. д.). В дверцах шкафов и ящиках устанавливают специальные замки, препятствующие их открыванию посторонними людьми.

### ***Монтаж внутренних соединений шкафов управления***

При монтаже щитов, устройств, вторичных цепей необходимо выполнять следующие правила:

- до начала работ необходимо изучить рабочие чертежи, техническую документацию;
- все аппараты, расположенные внутри ящика или шкафа, соединяют между собой неразъемными перемычками без вывода проводов

на наборные зажимы. Цепи для подключения внешних устройств присоединяют на зажимы планок (реек). Провода до прокладки выправляют и протирают ветошью, пропитанной парафином;

– по панелям шкафов провода прокладывают только вертикально и горизонтально. Радиус изгиба проводов – не менее трех диаметров провода. К панели провода крепят скобами с изолирующими прокладками. Потоки проводов закрепляют бандажами через 200 мм;

– переход проводов с корпуса щита на подвижную дверцу или подвижные контакты устройства выполняют гибкими медными проводами в виде вертикально скручивающегося жгута без разрезания проводов.

Жгут крепится к корпусу и дверце с помощью скобки. Неподвижный корпус ящика управления соединяется с дверцей с помощью многожильного голого провода. Кольца на концах жил располагают в зажиме по ходу винта, который затягивают плотно, не допуская «выдавливаний» жилы или срыва резьбы.

Если к зажиму присоединяют два провода, то между кольцами прокладывают шайбу. Соединение больше двух проводов под один винт запрещается. Не допускается изгибать жилы или делать на них кольца плоскогубцами или кусачками.

Проводники у наборных зажимов аппаратов должны иметь маркировку, которую записывают на окольцевателях из пластмассы составной надписью или из полимерной трубки длиной 20 мм или 15 мм.

Надписи на трубках-окольцевателях наносят с двух сторон несмываемыми чернилами. Навешивать на провода бирки вместо окольцевателей запрещается.

Переключатели и ключи управления подключают в соответствии с диаграммой замыкания контактов, которую приводят на чертеже с принципиальной схемой.

Применение проводов и кабелей с алюминиевыми жилами для внутреннего монтажа щитовых устройств не допускается.

### ***Монтаж соединений в щитовых устройствах***

1. По принципиальной электрической схеме составляется схема соединений адресным методом. Например, для принципиальной схемы первичных соединений ящика управления типа РУСМ5115 составляется схема электрическая соединений, приведенная на рисунке 7.2 [1].

Адрес состоит из двух частей: первая включает знак позиционного обозначения, вторая – номер контакта, присвоенный заводом-изготовителем. На монтажных схемах заводские номера контактов проставляют в кружках, обозначающих контакты, или в скобках около контактов. Адрес записывают против обрыва проводника – это показывает позиционное обозначение и номер контакта того элемента схемы, к которому должен быть присоединен данный проводник.

Например (см. рис. 7.1), проводник А1, присоединенный к контакту 2 выключателя QF1, имеет адрес КМ1:1, который читается следующим образом: провод, отходящий от контакта 2 выключателя QF1, должен присоединяться к контакту 1 магнитного пускателя КМ1. У контакта 1 пускателя КМ1 пишут обратный адрес QF1:2, указывающий, откуда к контакту приходит провод. Часто в проектах вместо схемы соединений составляют таблицу соединений по форме (табл. 7.5).

*Таблица 7.5*

**Таблица соединений**

Обозначение провода	Откуда идет	Куда поступает	Марка провода площадь сечения	Примечание
– А1	– QF1:2	КМ1:1	ПВГ (1,5 мм <sup>2</sup> )	–

В графе «обозначение провода» указывают обозначение участка провода по маркировке на принципиальной схеме (рис. 7.2). В последующих графах – адреса соединяемых элементов.

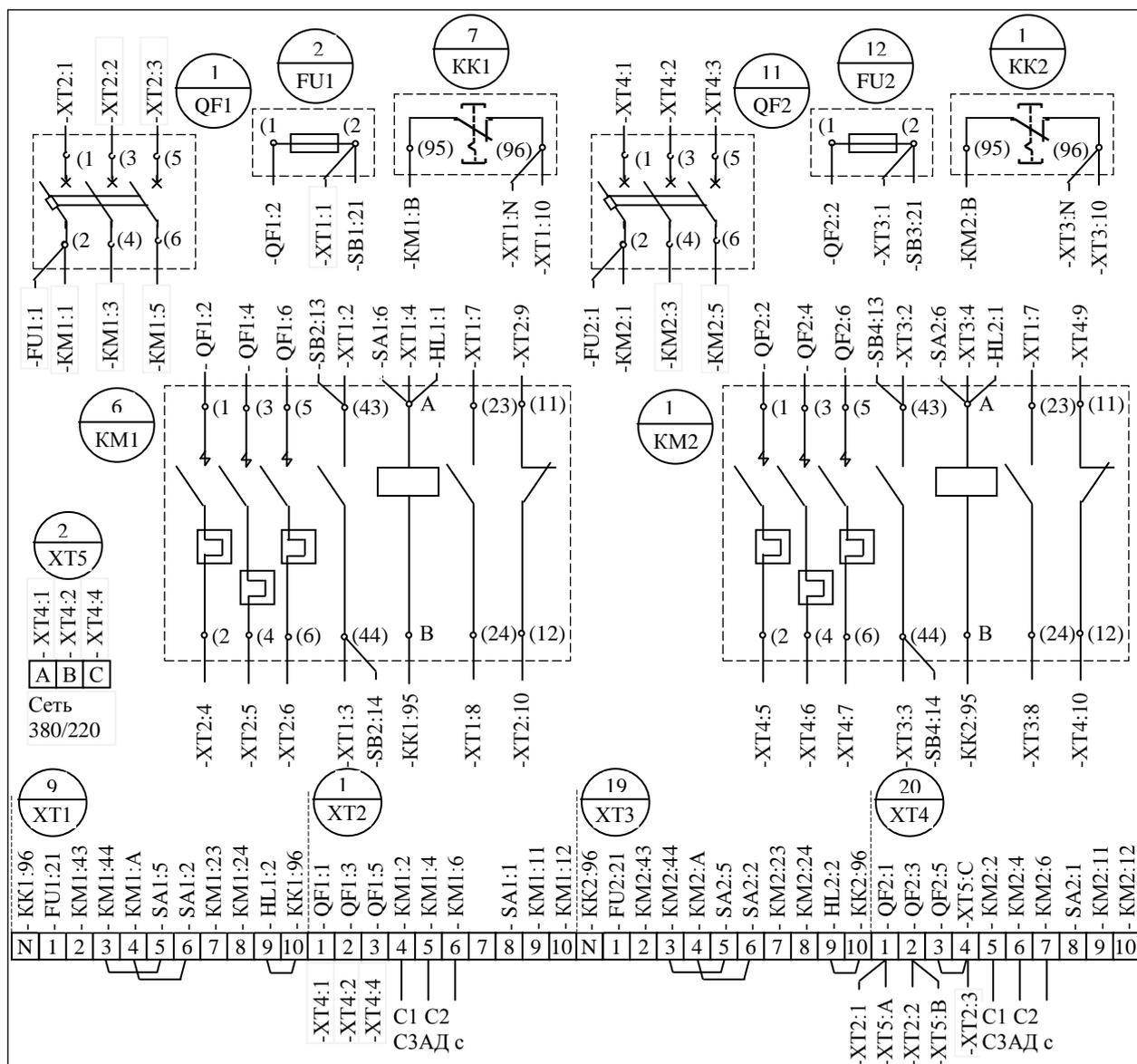
2. На панели ящика размещаются необходимые электрические аппараты. Намечается трасса, по которой будут прокладываться провода. Выполняются необходимые замеры на панели и, в соответствии с полученной трассой, составляется эскиз жгута.

Эскиз составляют на основании схемы соединений, разметки трассы прокладки, а также мест прокладки на коммутируемом устройстве. Эскиз жгута проводов можно выполнять в однолинейном (см. рис. 7.3, а) и изометрическом (см. рис. 7.3, б) изображениях.

На эскизах жгуты проводов со всеми ответвлениями и изгибами следует вычерчивать одной линией.

На каждом прямолинейном участке жгута (от угла до угла или ответвления) наносят размеры, определенные при замере трассы прокладки жгута проводов (см. рис. 7.3, а).

### Задняя стенка ящика



### Дверца ящика

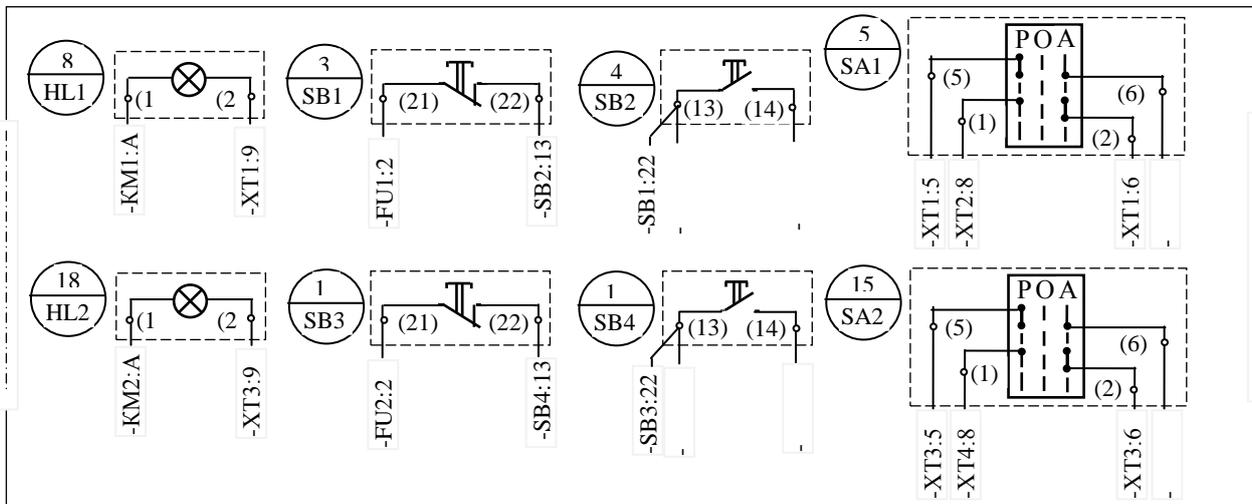


Рис. 7.2. Схема электрическая соединений ящика управления типа РУСМ5115

На эскизах прямые участки и углы изгиба жгута проводов на ребро изображают в виде линий, а углы изгиба жгута на плоскость – крестиком или другой отметкой. На всех участках потока в кружочках указывают количество проводов.

Производить замеры по месту и наносить размеры на эскизе следует с точностью, исключающей брак при монтаже и перерасход проводов при заготовке жгутов.

По эскизам определяют и отмечают на схеме соединений длину проводов.

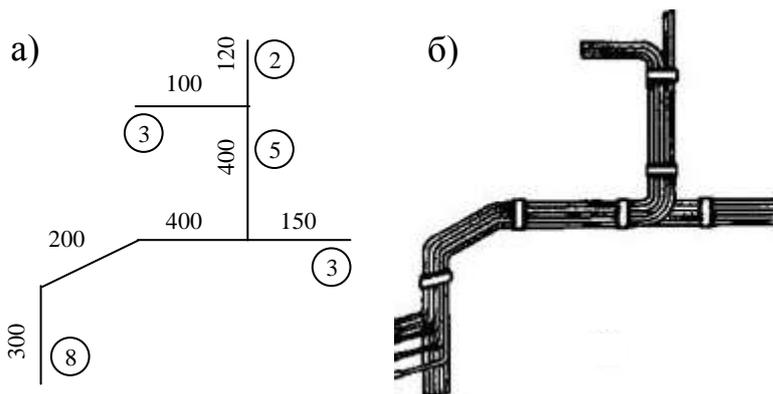


Рис. 7.3. Эскизы для заготовки проводов

3. На универсальном шаблоне, который представляет собой перфорированную плиту с отверстиями диаметром 3–5 мм, расположенными на расстоянии 25–50 мм, наносится мелом контур жгута. Выставляются концевые и угловые шпильки.

4. Выбираются провода для монтажа цепей главного тока и вторичных цепей. В соответствии с эскизом нарезаются провода необходимой длины, протираются ветошью, пропитанной парафином, и выправляются.

5. Маркируются провода. Надеваются с каждого конца провода трубки-бирки и, с помощью несмываемых чернил, наносится маркировка, соответствующая маркировке на схеме соединений.

Маркировку на панелях, пультах, приборах, аппаратах наносят краской по трафарету, на кабели – подвесными бирками или надписями на манжетах оконцеваний, на жилах и проводах – надписью знаков на оконцевателях, поливинилхлоридных трубках, на изоляции проводов маркировочной липкой лентой.

Для обозначения фаз или полярности жилы маркируют красками различных цветов или монтируют провода с цветной изоляцией (для фазы А – желтый, В – зеленый, С – красный). Цепи постоянного тока

различают, применяя проводники с синей изоляцией (минус) и красной (плюс).

6. Раскладываются провода на шаблоне в соответствии с составленным эскизом. Связываются провода в жгут (перфорированной лентой, полоской пряжкой, ниточным бандажом и т. д.).

Два (и более) параллельно идущих по одной трассе изолированных провода длиной более 50мм должны быть связаны в жгут. Исключением может явиться только недопустимое увеличение взаимных наводок в электрических цепях. Для вязки применяют нитки, шнуры, тесьму, изоляционные ленты, термоусадочные трубки и др. Операцию осуществляют, как правило, на шаблоне [3, 5, 6].

Шаг вязки  $l$  зависит от сечения проводов, числа проводов  $n$  и диаметра  $D$  жгута. На криволинейных участках шаг должен быть уменьшен в зависимости от диаметра и радиуса изгиба жгута. В местах разветвления проводов вязка должна иметь 2–5 витков на всех ветвях, бандажи должны быть сделаны из 2–3 рядом лежащих петель. Концы жгута должны иметь бандажи и оконечные узлы (рис. 7.4). Вязку следует заканчивать узлом, который должен быть закреплен клеем, лаком или оплавлением.

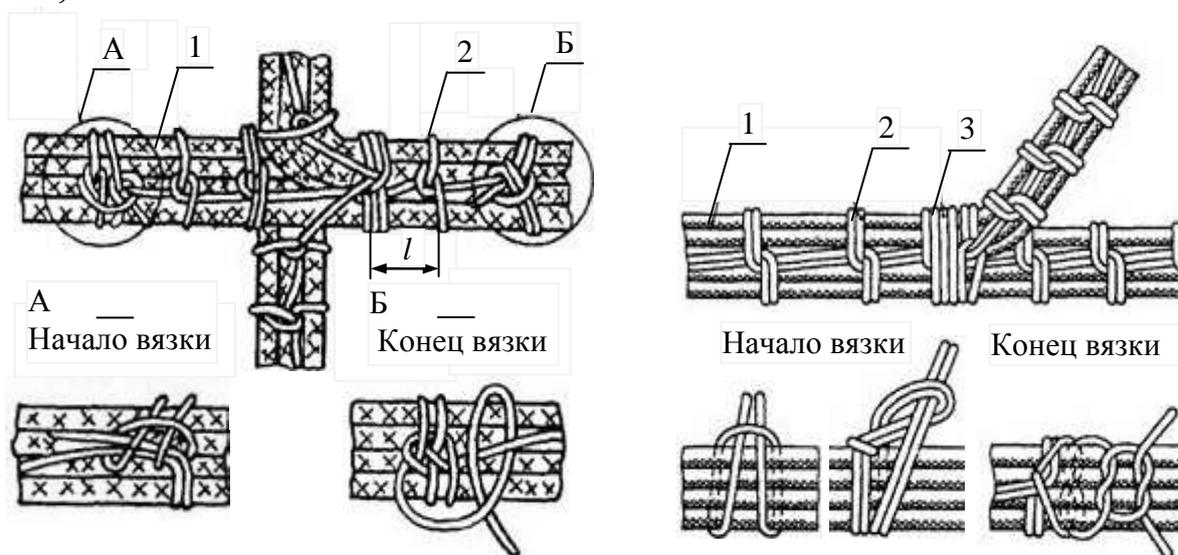
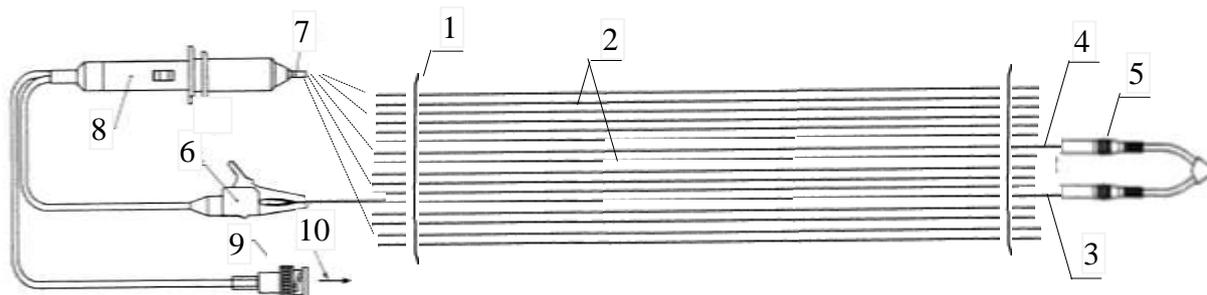


Рис. 7.4. Варианты вязки жгутов: 1 – жгут; 2 – нитки; 3 – бандаж из ниток;  $l$  – шаг вязки

7. Снимается изоляция с концов проводов. Тестером или мегаомметром «прозванивается» собранный жгут и проверяется маркировка проводов.

На рисунке 7.5. показана схема нахождения концов одноименных жил кабеля с помощью щупа, если есть одна известная жила кабеля, например, более тонкая или имеющая расцветку. На другом

конец кабеля искомая жила соединяется с известной жилой с помощью перемычки, а на ближнем конце кабеля зажим фиксированного тестового щупа (зажим «крокодил») соединяется с известной жилой. Далее стержнем щупа касаются разных жил до тех пор, пока не идентифицирует себя соответствующим образом (например, звуковым сигналом) контрольно-измерительный прибор, подключенный к щупу через разъем. Наличие звукового сигнала будет означать, что появилась цепь из найденной жилы, известной жилы и щупа. В качестве обратной (известной) жилы щупа может быть использована проводящая оболочка кабеля или заземленные конструкции [3, 6, 7].



*Рис. 7.5. Схема нахождения с помощью щупа жил кабеля: 1 – кабель; 2 – жилы кабеля; 3 – известная жила; 4 – искомая жила; 5 – перемычка; 6 – зажим «крокодил»; 7 – стержень (наконечник) щупа; 8 – щуп; 9 – разъем; 10 – контрольно-измерительному оборудованию*

Оконцовываются провода в жгуте (штырем или кольцом) в зависимости от вида соединения их с электрическими устройствами и аппаратами. Многопроволочные медные провода необходимо пропаять.

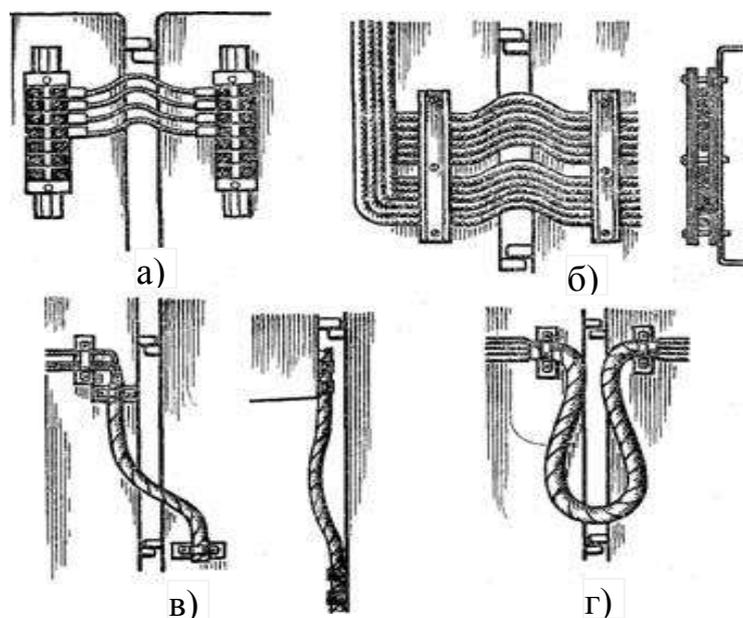
Переносится жгут на панель ящика и производится подключение (монтаж) проводов к зажимам и выводам приборов и аппаратов.

При монтаже приборов или аппаратов на дверях шкафов в месте перехода проводов по оси шарниров с неподвижной части на подвижную делается вставка из медных проводов с многопроволочными гибкими жилами, называемая гибким компенсатором.

Гибкие компенсаторы (рис. 7.6) выполняют различными способами.

Если можно установить наборные зажимы, компенсаторы монтируют так, как показано на рисунке 7.6, а, при этом гибкими проводами соединяют лишь ряды зажимов (длина перемычки гибкого соединения должна быть не более 250 мм). При использовании прижимных планок (рис. 7.6, б) все цепи собирают из гибких проводов. Компенсаторы можно выполнять проводами с однопроволочными

жилами (рис. 7.6, в, г), когда не надо часто открывать двери, поскольку провода в этом случае работают не на изгибание, а на скручивание. Пучки проводов компенсаторов, работающих на скручивание, рекомендуется защищать металлорукавом или поливинилхлоридной трубкой. Место выхода провода из металлорукавов или трубок обматывают несколькими слоями изоляционной ленты. Гибкое соединение в виде жгута, выполняемое петлей, должно иметь длину не менее 550 мм.



*Рис. 7.6. Устройство гибких компенсаторов:  
а – с установкой наборных зажимов; б – с прижимными  
планками; в – работающих на скручивание;  
г – петлевого типа*

При монтаже вторичных цепей на панелях необходимо выполнять следующие требования:

- подводить провода к месту присоединения кратчайшим путем;
- стремиться к наименьшему числу перекрещиваний между потоками проводов;
- следить, чтобы потоки проводов не закрывали доступ к наборным зажимам, выводам приборов и аппаратов и не мешали их замене;
- объединять по возможности в один поток провода, относящиеся к одному или группе однородных аппаратов;
- укладывать в нижний слой при многослойных потоках провода, наиболее удаленные от наборных зажимов аппаратов и приборов;
- собирать в одном ряду провода, наиболее близкие друг к другу в местах присоединения к аппаратам;

- соблюдать однотипность крепления и формирования потоков проводов;
- осматривать провода до укладки потока, выправлять вытяжкой и протирать ветошью, пропитанной стеарином или парафином;
- устранять при формировании и прокладке потоков волнистость проводов, образующуюся в результате сильной перетяжки бандажей; укладывать провода в потоке плотно и строго параллельно друг другу; выравнивать потоки проводов после каждого крепления;
- соблюдать горизонтальность и вертикальность потоков и отдельных проводов (отклонения допускаются не более 6 мм на 1 м длины потока);
- выполнять перекрещивания и ответвления проводов от основного потока, а также повороты одинаково и под прямым углом; уделять особое внимание изгибу первого провода, так как по нему будет формироваться поворот всего потока.

8. По окончании монтажа проводится контроль качества. При этом внешним осмотром проверяется маркировка проводов по схеме соединений, отсутствие подрезов токопроводящих жил, качество их лужения, отсутствие повреждений и загрязнений изоляции.

Механическая прочность пайки жил проверяется пинцетом с надетым на его концы трубками из ПВХ. Усилие тяжения вдоль оси провода должно быть не более 10 Н. Запрещается перегибать провод от места пайки. После контроля пайки место спая окрашивается прозрачным цветным лаком. Правильность присоединений проводов определяется с помощью тестера.

Контроль заключается в следующем: к одному выводу цепи тестера подключается сначала конец проводника, направление которого необходимо определить. Затем к концам проводников, расположенных в другой части аппарата или комплектного устройства, поочередно присоединяется второй вывод тестера. Когда цепь оказывается замкнутой проводником, тестер покажет минимальное значение сопротивления. Это дает возможность убедиться, что данный конец является искомым.

### ***Ящики управления и распределения энергии серии РУСМ***

Устройства НКУ серии РУСМ применяются в промышленных помещениях с высокой влажностью, запыленностью, при наличии химически агрессивных сред и в наружных установках промышленного

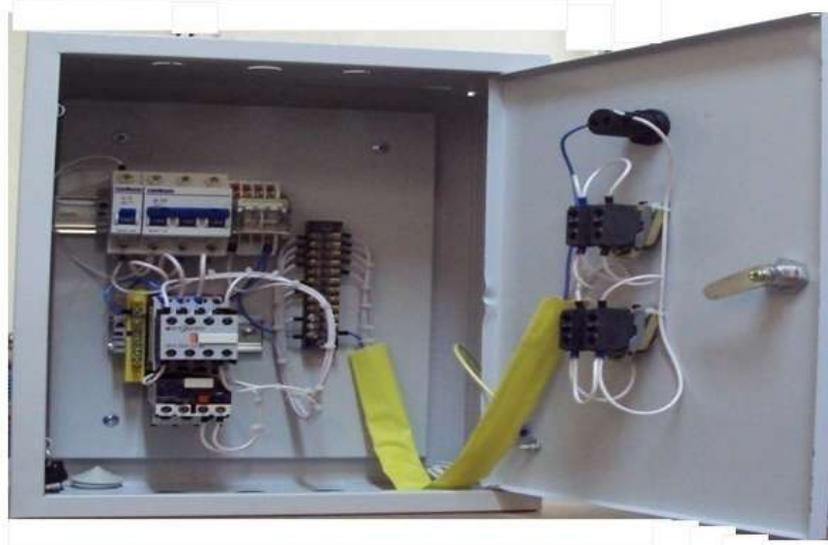
производства. Вид системы заземления электрических сетей, в которых используются данные устройства, соответствует TN-C. Виды климатического исполнения – У; ХЛ; Т; категории размещения – 5 и 1 [1].

Ящики РУСМ 5000 предназначены для управления асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором, работающими в продолжительном, кратковременном или повторно-кратковременном режимах, в категории применения АСЗ.

Ящики классифицируются по числу управляемых электродвигателей (1, 2 или 3), наличию реверса, наличию переключателя на автоматический режим, способу питания цепи управления.

Дополнительные возможности ящиков РУСМ 5000, предоставляемые встраиваемыми аппаратами: защита цепей электродвигателей от токов перегрузки, токов короткого замыкания и обрыва фазы.

Конструктивно устройства РУСМ выполняются в виде металлических ящиков степени защиты IP54, четырех типоразмеров; навесного (для крепления на стенах, колоннах и других подобных конструкциях) (рис. 7.7) или напольного (при использовании каркаса) исполнения по способу установки.



*Рис. 7.7. Общий вид РУСМ*

Для установки комплектных сборных щитов (навесного или напольного исполнения) используется каркас. Электрические аппараты устанавливаются как на панели внутри ящика, так и на его передней крышке, причем на передней крышке располагаются аппараты, реализующие функции контроля и управления – кнопки, светосигнальная арматура, переключатели, приводы выключателей и тепловых реле.

Структура условного обозначения РУСМ5 X<sub>1</sub>X<sub>2</sub> X<sub>3</sub>-XX<sub>4</sub>7X<sub>5</sub>-XX<sub>6</sub>УХЛ4 приведена в таблице 7.6, технические характеристики в таблице 7.7 [1].

Таблица 7.6

### Структура условного обозначения РУСМ 5

РУСМ	Ящик, IP54; М – модернизированный
5	Класс НКУ по назначению – управление асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором
X <sub>1</sub>	Группа в данном классе: 1 – управление нереверсивными двигателями; 4 – управление реверсивными двигателями
X <sub>2</sub>	1 – автоматический выключатель на каждый фидер; 2 – общий автоматический выключатель на все фидеры; 3 – без автоматического выключателя; 4 – автоматический выключатель на каждый фидер с промежуточным реле; 5 – общий автоматический выключатель на все фидеры с промежуточным реле; 6 – без автоматического выключателя с промежуточным реле
X <sub>3</sub>	0 – однофидерный, без переключателя на автоматический режим; 1 – однофидерный, с переключателем на автоматический режим; 2 – однофидерный, без переключателя на автоматический режим, с контактами состояния на автоматическом выключателе; 3 – однофидерный, с переключателем на автоматический режим, с дополнительными контактами на автоматическом выключателе; 4 – двухфидерный, без переключателя на автоматический режим; 5 – двухфидерный, с переключателем на автоматический режим; 6 – двухфидерный, без переключателя на автоматический режим, с дополнительными контактами на автоматическом выключателе; 7 – двухфидерный, с переключателем на автоматический режим, с дополнительными контактами на автоматическом выключателе; 8 – трехфидерный, без переключателя на автоматический режим; 9 – трехфидерный, с переключателем на автоматический режим
XX <sub>4</sub>	Исполнение по току (см. табл. 7.7)
7	Напряжение силовой цепи 380 В
X <sub>5</sub>	напряжение цепи управления: 4 – 220 В, 7 – 380 В
XX <sub>6</sub>	При наличии 2-го, 3-го фидеров (при различной мощности подключаемых двигателей) указывается их исполнение согласно таблице 7.7
УХЛ4	Климатическое исполнение и категория размещения ГОСТ 15150-69

## Технические характеристики РУСМ 5

Тип ящика	Типовой индекс	Номинальный ток ящика, А	Диапазон регулирования $I_{ном}$ теплового реле, А	Рекомендуемая мощность двигателя, кВт
РУСМ5000	26	4	2,5–4	1,1; 1,5
	28	6	4–6	2,2; 2,5
	29	8	5,5–8	3
	30	10	7–10	3,7; 4
	31	13	9–13	5; 5,5
	32	18	12–18	6,5; 7,5; 8
	34	25	17–25	9; 11
	35	32	23–32	12,5; 15
	36	40	32–40	18,5
	37	50	37–50	20; 22
	38	65	48–65	25; 30
	39	80	63–80	37; 40
	40	93	80–93	45

Ввод/вывод внешних проводников осуществляется через сальники, располагаемые сверху и снизу ящика. В качестве сальников используются универсальные кабельные вводы из гибкого полимера, предназначенные для ввода кабелей различного диаметра (нужный диаметр ввода обеспечивается путем обрезки сальника на нужной высоте). Диаметр отверстия одного универсального сальника может быть, например, 4, 12, 14 и 20 мм.

Каждый ящик имеет внутреннее и наружное заземляющее устройство.

Рассмотрим работу схемы управления трехфазным асинхронным электродвигателем привода канатно-скреперной установки типа ТСГ с помощью ящика управления РУСМ 5415.

Скреперные установки для уборки навоза из открытых навозных проходов при беспривязном боксовом содержании крупнорогатого скота ТСГ-170, ТСГ-250 (рис. 7.8) предназначены для уборки навоза

крупного рогатого скота из открытых навозных проходов при беспривязном боксовом содержании скота.

Скрепер комплектуется четырьмя рабочими органами, что позволяет осуществить выгрузку навоза как из торца, так и из середины помещения. Соединение цепи осуществляется с помощью соединительных звеньев, что исключает применение сварки при сборке и изменении длины цепи в процессе эксплуатации.

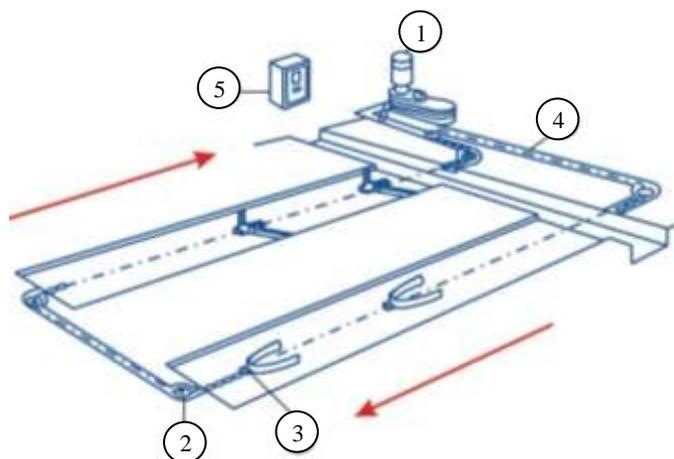


Рис. 7.8. Скреперная установка ТСГ-170:  
1 – привод; 2 – устройство поворотное;  
3 – ползун; 4 – цепь; 5 – пульт управления

Таблица 7.8

### Технические характеристики ТСГ

Наименование	Значение	
	ТСГ-170	ТСГ-250
Тип установки		Стационарный возвратнопоступательного действия
Устан. мощность	1,1	1,5
Длина контура, м	170	250
Ширина захвата, м	От 1,8 до 3,0	
Размер навозного канала: ширина глубина	От 1800 до 3000 200	
Скорость рабочего органа, м/мин	5,1	
Срок службы, лет	7	
Количество обслуживаемого поголовья	80–120	140–180

Принципиальная схема первичных соединений ящика управления типа РУСМ5415 приведена на рисунке 7.9.

Принципиальная электрическая схема управления канатно-скреперной установкой с помощью РУСМ5415 (рис. 7.10) может быть получена из схемы, приведенной на рисунке 7.9, после подключения к соответствующим зажимам силового кабеля питания электродвигателя и контрольных кабелей питания вторичных цепей (кнопочного поста и конечных выключателей).

Канатно-скреперная установка управляется с двух мест: с помощью кнопок SB1 «Стоп», SB2 «Вперед» и SB3 «Назад», расположенных на дверце ящика управления, размещенного в электрощитовой, а также с помощью кнопочного поста (кнопки SB4 «Стоп», SB5 «Вперед» и SB6 «Назад»), расположенного на стене коровника, рядом с электроприводом транспортера (рис. 7.8).

Для управления канатно-скреперной установкой из электрощитовой переключатель SA ставят в положение «Р» – ручное, при этом замыкаются контакты (1–2) и (5–6). При нажатии кнопки SB2 напряжение 220 В подается через замкнутые контакты кнопки SB1, контакты (1–2) переключателя SA, размыкающий контакт конечного выключателя SQ1 и размыкающий контакт теплового реле КК на катушку магнитного пускателя КМ. Электрический ток проходит по катушке КМ создает магнитное поле, которое притягивает якорь к сердечнику, и тем самым замыкает главные и вспомогательные контакты пускателя КМ, шунтирующие замыкающие контакты кнопки «Вперед».

Напряжение подается на обмотки электродвигателя М (см. рис. 7.10) и осуществляется его пуск, о чем сигнализирует лампа HL4. Трос наматывается на барабан и тянет первый скребок вдоль навозного канала по направлению к выгрузному окну, а второй скребок по другому каналу передвигается от второго выгрузного окна в исходное положение. Так как у скрепера задняя стенка качающаяся, навоз при обратном ходе не сгребается. Как только первый скребок выгрузит навоз в окно, упор, прикрепленный к тросу, нажимает на конечный выключатель SQ1. Размыкающий контакт SQ1 разрывает цепь питания катушки пускателя КМ1 и двигатель останавливается.

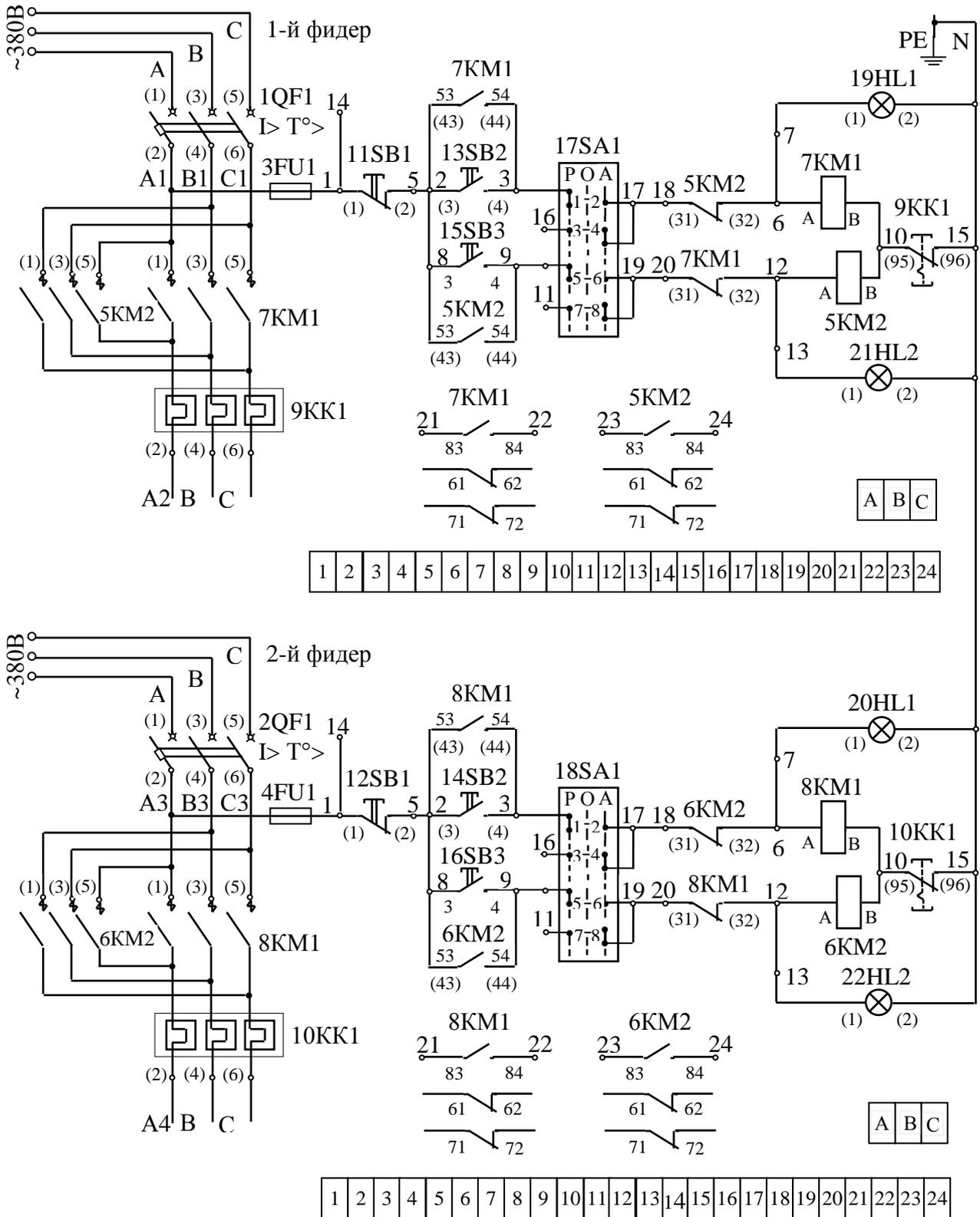


Рис. 7.9. Принципиальная схема первичных соединений ящика управления типа PУСМ5415



случае, подается при нажатии соответствующих кнопок SB5 «Вперед» и SB6 «Назад» через замкнутые контакты (3–4), (7–8) переключателя SA. Остановка электродвигателя осуществляется теми же конечными выключателями, что и для ручного режима или кнопкой SB4.

Для предотвращения короткого замыкания между фазами «В» и «С», при одновременном замыкании главных замыкающих контактов пускателей KM1 и KM2, в конструкции реверсивного пускателя предусмотрена электрическая блокировка: после включения пускателя KM1 размыкающим контактом KM1, разрывается цепь катушки пускателя KM2 и при нажатии кнопки SB3 не произойдет никаких аварийных режимов.

В схеме, представленной на рисунке 7.10, предусмотрено защитное зануление выполненное путем соединения с защитным проводником РЕ корпуса электродвигателя. В свою очередь, защитный проводник предварительно соединен с глухозаземленной нейтралью трансформатора. В случае пробоя изоляции электродвигателя или кабеля на корпус, в схеме возникнет режим короткого замыкания (через цепь «фаза – корпус – нуль» будет протекать ток короткого замыкания). Возникновение режима короткого замыкания приведет к срабатыванию электромагнитного расцепителя автоматического выключателя QF, и соответственно отключению самого QF. Срабатывание автоматического выключателя обесточит всю схему.

### **Порядок выполнения работы**

1. Прочитайте принципиальную схему РУСМ 5415 (рис. 7.9) и схему управления канатно-скреперной установкой с помощью РУСМ 5415 (рис. 7.10) и отыщите в ящиках все аппараты, указанные на схемах.

2. Проверьте первичные и вторичные цепи, а также контакты всех аппаратов, включенных в эти цепи.

3. Проверьте исправность механической части аппаратов: включение и отключение без заеданий, срабатывание теплового реле при принудительном нажатии на биметаллическую пластинку, фиксацию положений рукояток.

4. Проверьте исправность электрических цепей, замыкание и размыкание контактов индикатором с батарейками (рис. 7.5). Проверьте, соответствует ли схемам нанесенная на контакты коммутационной аппаратуры маркировка.

5. Измерьте сопротивление изоляции вторичных цепей вместе с установленной в этих цепях аппаратурой. Вторичные цепи, рассчитанные на рабочее напряжение до 60 В, испытывают мегомметром на 500 В, а цепи, рассчитанные на напряжение свыше 60 В, – мегомметром на 1000 В [5].

До начала измерения изоляции в щитах, шкафах необходимо: проверить, на какое испытательное напряжение рассчитана изоляция проводов и аппаратов; снять предохранители и отсоединить нулевые защитные проводники от корпусов шкафа и аппаратов; очистить электрические цепи и контакты от пыли и загрязнений.

Сопротивление изоляции жил кабелей, проводов, обмоток измеряют по отношению к корпусам аппаратов и шкафов; между фазами в пределах одной цепи; между цепями, электрически не связанными одна с другой, (например, между первичными и вторичными цепями). Если сопротивление изоляции ниже 0,5М Ом, то участок с пониженной изоляцией разбивают на более мелкие элементы (отдельные проводники, обмотки и т. п.) и поочередно проверяют их сопротивление. Элемент с поврежденной изоляцией заменяют исправным и повторно измеряют сопротивление изоляции. Данные измерений заносятся в протокол.

6. Изучите схему управления канатно-скреперной установкой с помощью РУСМ 5415 (рис. 7.10).

7. Составьте монтажную схему и схему подключения РУСМ.

**Прежде чем начать собирать электрическую схему согласно рисунку 7.10**, убедитесь в том, что отключен автоматический выключатель QF, расположенный в левом верхнем углу РУСМ. Убедитесь в целостности лабораторного оборудования и соединительных проводов. Монтажными проводами произведите коммутацию между соответствующими зажимами блока зажимов на лабораторном стенде согласно рисунку 7.10.

Клеммы кнопок SB4, SB5 и SB6 соединены с зажимами 106, 105, 101, 102, 103 и 104 соответственно. Начала обмоток электродвигателя выведены на зажимы 112, 113 и 114. Контакты конечных выключателей SQ1 и SQ2 выведены на клеммы 107, 108, 109, 110.

**После проверки преподавателем схемы** осуществите управление трехфазным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью РУСМ, как описано выше.

Во избежание поражения электрическим током касаться руками клемм, других токоведущих деталей категорически запрещается.

После успешного пуска и остановки электродвигателя отключите автоматический выключатель QF.

При возникновении аварийных ситуаций: гудении электродвигателя (например, при неполнофазном режиме работы), появлении запаха дыма и возникновении прочих аварийных режимов – немедленно отключите автоматический выключатель QF и сообщите о неисправности лаборанту или преподавателю.

Доложите о работе схемы преподавателю. Обесточьте стенд. С согласия преподавателя отсоедините монтажные провода от блока зажимов стенда. Соберите монтажные провода и сдайте лаборанту.

### **Содержание отчета**

1. Название и цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема управления канатно-скреперной установкой с помощью РУСМ 5415 (рис. 7.10).
3. Схема соединений РУСМ 5415.
4. Схема подключения электрооборудования к РУСМ 5415.

### **Контрольные вопросы**

1. Каков порядок чтения принципиальной электрической схемы?
2. Как выполняют адресную маркировку электрических цепей?
3. Расскажите правила нанесения надписей на шкафах, аппаратах, цепях.
4. Расскажите технологию монтажа и присоединения к контактам вторичных цепей.
5. Как измеряют сопротивление изоляции вторичных цепей?
6. Расшифруйте, что обозначает РУСМ 5415.
7. Расскажите, как вы составляли монтажную схему РУСМ.
8. Расскажите, как вы составляли схему подключения электрооборудования к РУСМ.
9. Как осуществляется управление канатно-скреперной установкой с двух мест?
10. Какие защиты от аварийных режимов предусмотрены в РУСМ?

## Библиографический список

1. Паспорт. Устройства комплектные низковольтные управления и распределения энергии РУСМ. ОАО «Дивногорский завод низковольтных автоматов». – Дивногорск, 2008.
2. ГОСТ 2.755-87 Обозначения условные графические в электрических схемах устройства коммутационные и контактные соединения.
3. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. пособие / А.Г. Черных, А.Д. Епифанов, И.В. Алтухов. – Иркутск: Иркутск. гос. сельхоз. акад., 2013. – 208 с.
4. ГОСТ 2.709-89. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах.
5. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 464 с.
6. Монтаж электрооборудования и средств автоматизации: учеб. для вузов / И.Р. Владыкин, А.П. Коломиец, Н.П. Кондратьева [и др.]. – М.: КолосС, 2007.
7. Сибикин, Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учеб. пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. – М.: Высшая школа, 2003.

## Лабораторная работа 8

### МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

#### Цель работы

Ознакомиться с классификацией асинхронных двигателей. Ознакомиться с устройством электродвигателей, конструктивными особенностями и технологией их монтажа. Освоить основные приемы монтажа электродвигателей.

#### Задание к работе

1. Изучить общие сведения об электродвигателях.
2. Проверить электродвигатель и составить эскиз установочных размеров.
3. Установить двигатель и выполнить центровку валов.
4. Измерить сопротивление изоляции обмоток и электропроводок.
5. Подключить двигатель к сети, выполнить заземление и проверить непрерывность его цепи, включить двигатель.

#### Общие сведения [1]

Асинхронные двигатели общепромышленного назначения изготавливаются в основном (базовом) исполнении и в модифицированных исполнениях.

**Основное (базовое) исполнение** – двигатель монтажного исполнения IM1001 (1081), климатическое исполнение УЗ, для режима работы S1, с типовыми техническими характеристиками, соответствующими требованиям стандартов.

**Модифицированное исполнение** – двигатель, изготовленный на основе узлов основных (базовых) двигателей с необходимыми конструктивными отличиями по способу монтажа, степени защиты, климатическому исполнению и другими отличиями.

**Двигатели специального назначения** – двигатели, предназначенные для узкоспециализированного применения – лифтов, транспорта, талей и др.

**Серийно изготавливаемый двигатель** – двигатель, изготавливаемый по действующим на предприятии техническим условиям и конструкторской документации, предназначенной для серийного изготовления.

**В состав серий асинхронных двигателей входят [1, 4]:**

- двигатели основного (базового) исполнения, степень защиты

IP54, (IP55) в закрытом обдуваемом исполнении – АИР, АИВ, 4А, 5А, 6А;

- двигатели стандартного класса энергоэффективности **IE1** и высокого класса энергоэффективности **IE2** по IEC 60034-30, 7А (7АVER);

- двигатели повышенной мощности, степень защиты IP23 – 4А, 5А;

- двигатели взрывозащищенного исполнения – ВА;

- двигатели с привязкой рядов мощностей и установочных размеров, в соответствии с нормами CENELEC Dokument – АИС, 5А, 6А, 7А (7АVER);

- двигатели специального назначения.

Концерн «РУСЭЛПРОМ» [1] создал первый в России энергоэффективный двигатель общепромышленного назначения в двух классах энергоэффективности, применяемых в Европе и Америке: IE1 и IE2 по EC 60034 – 30 с возможностью модификации в класс энергоэффективности «Premium» – IE3 (соответствие стандарту США).

Серия 7AVE создана с применением российского стандарта ГОСТ Р 51689-2000, вариант I, и европейского стандарта CENELEC, IEC 60072-1, что позволяет устанавливать новые энергосберегающие электродвигатели как на отечественное оборудование, так и на импортное, где в настоящее время используются двигатели иностранного производства.

Серия 7AVE предусматривает повышение КПД от 1,1 % (старшие габариты) до 5 % (младшие габариты) и охватывает самый востребованный диапазон мощностей от 1,5 до 500 кВт.

Двигатели серии 7AVE наилучшим образом подходят для частотно-регулируемого привода, поскольку энергоэффективный двигатель обладает лучшими регулировочными свойствами, в частности, большим запасом по максимальному моменту. Здесь действует простое правило: чем больше класс энергоэффективности общепромышленного двигателя, тем шире его зона применения в частотно-регулируемом приводе.

Особенности конструкции двигателей серии 7AVE [1, 2, 3]:

- Магнитная система. Увеличена эффективность использования магнитных материалов, жесткость системы.

- Обмотка нового вида. Используется статорообмоточное оборудование нового поколения.

– Пропитка. Новое оборудование и пропиточные лаки обеспечивают высокую цементацию обмотки и высокую теплопроводность.

Технологические преимущества двигателей классов энергоэффективности IE2 и IE3:

– Двигатели новой серии обладают низкими шумовыми характеристиками (на 3–7 дБ ниже, чем у двигателей предыдущей серии), т. е. более эргономичны. Снижение уровня шума на 10 дБ означает снижение его фактического значения в 3 раза.

Двигатели 7AVE обладают более высокими показателями надежности за счет снижения рабочих температур. Данные двигатели изготавливаются с классом нагревостойкости «F» (155 °C), при фактических рабочих температурах, соответствующих более низкому классу изоляции «B» (130 °C). Это позволяет работать машинам с повышенным значением сервис фактора, т. е. обеспечить надежную работу при длительных перегрузках на 10–15 % [2].

Двигатели имеют сниженные значения нарастания температуры при заторможенном роторе, что позволяет обеспечить надежную работу в системе привода механизмов с частыми и тяжелыми пусками и реверсом.

Двигатели серии 7AVE (IE2, IE3) адаптированы к работе в составе частотно-регулируемого электропривода. За счет высокого сервис фактора двигатели могут работать в составе частотно-регулируемого привода (ЧРП) без принудительной вентиляции.

### Структура обозначения двигателей 5 и 6 серии[1, 2]:

<u>5</u> <u>A</u> <u>M</u> <u>X</u>	<u>132</u>	<u>M</u>	<u>2</u>	<u>БП</u>	<u>У2</u>
1 2	3	4	5	6	7

- 1 – обозначение серии;
- 2 – признак модификации;
- 3 – габарит (высота оси вращения, мм);
- 4 – установочный размер;
- 5 – число полюсов;
- 6 – признак отличия по назначению;
- 7 – климатическое исполнение.

#### 1. Обозначение серии:

АИР, АИВ, 4А, 5А, 6А, АН, ВА и др.

## **2. Признак модификации:**

- пристраиваемые – П;
- модернизированные – М;
- с алюминиевой станиной – Х;
- с фазным ротором – К;
- повышенного скольжения – С;
- с самовентиляцией – Н;
- с принудительным охлаждением – Ф;
- встраиваемые – В;
- однофазные – ЕУ;
- для транспорта – Э;
- с повышенным пусковым моментом – Р.

## **3. Габарит (высота оси вращения, мм):**

80, 112, 132, 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355 и др.

## **4. Установочный размер по длине станины (S, M, L), или вариант длины сердечника (A, B).**

## **5. Число полюсов:**

2, 4, 6, 8, 10, 12 или 2/4, 8/6/4 и т. д.

## **6. Признак отличия по назначению:**

- по нормам CENELEK – К;
- с датчиком температурной защиты обмотки – Б;
- с датчиком температуры подшипника – Б1;
- с датчиком и антиконденсатным подогревателем – Б2;
- повышенной точности по установочным размерам – П;
- малошумные – Н;
- для лифтов – Л;
- для станков качалок – С;
- для сушильных шкафов – СШ;
- для АЭС – А (А1, А2, А3).

## **7. Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150:**

УЗ, Т2, УХЛ4 и т. д. (табл. 8.1).

В дополнение к обозначению двигателя указывается:

- монтажное исполнение – IM1081 и др. (табл. 8.2);
- напряжение питающей сети – 380 В (220/380 В и др.);
- степень защиты IP44, IP55 и пр.;
- другие отличия от основного (базового) исполнения.

В обозначении двигателя может использоваться использование нескольких отличительных признаков модификации и назначения. Обозначение двигателя пишется слитно, пробел не применяется.

## Структура обозначения двигателей 7 серии [1, 2]:

<u>7A</u>	<u>V</u>	<u>E</u>	<u>R</u>	<u>160</u>	<u>S</u>	<u>A</u>	<u>2</u>
1	2	3	4	5	6	7	8

1 – обозначение серии;

2 – разработка предприятий группы компаний «ВЭМЗ», г. Владимир [2];

3 – энергоэффективные;

4 – R/C – привязка по варианту I / по варианту II по ГОСТ Р 51689;

5 – габарит (высота оси вращения, мм);

6 – установочный размер по длине станины;

7 – обозначение длины пакета магнитопровода;

8 – число полюсов.

Далее указываются:

**IE1/IE2** – стандартный / высокий класс энергоэффективности по IEC 60034-30;

/C – обозначение материала станины (для двигателей с литой станиной из алюминиевого сплава обозначение отсутствует);

–C – двигатели с литой чугунной станиной;

Б – двигатель со встроенными датчиками температурной защиты;

У3, У2, Т2, ХЛ2 – вид климатического исполнения.

Пример записи обозначения двигателя серии 7AVER160S4 для работы от сети частотой 50 Гц, напряжением 220/380 В, с синхронной частотой вращения 1500 об/мин, мощностью 15 кВт, привязка мощности к установочным размерам по I варианту, нормального класса энергоэффективности, со станиной из алюминиевого сплава, со встроенным датчиком температурной защиты, климатического исполнения У3, монтажного исполнения IM1081, с вводным устройством К-3-II с панелью выводов и двумя штуцерами при его заказе и в документации другого изделия [1]:

Двигатель 7AVER160S4IE1 Б У3, 220/380В, IM1081, К-3-II, ТУ16-10 ВАКИ 526122.121 ТУ.

### Климатические исполнения [1]

Двигатели имеют исполнения для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным (У), тропическим (Т), умеренно хо-

лодным (УХЛ) и холодным (ХЛ) климатом в условиях, определяемых категориями размещения:

1 – на открытом воздухе;

2 – под навесом при отсутствии прямого воздействия солнечного излучения и атмосферных осадков;

3 – в закрытых помещениях без искусственного регулирования климатических условий;

4 – в закрытых помещениях с искусственно регулируемые климатическими условиями.

В таблице 8.1 приведены значения климатических факторов – температуры и влажности воздуха для перечисленных выше условий, регламентированных ГОСТ 15150.

*Таблица 8.1*

### **Значения климатических факторов**

Климатическое исполнение	Категория размещения	Рабочая температура		Максимальное значение относительной влажности, %
		верхнее значение	нижнее значение	
У (умеренный климат)	1,2	+ 40	– 45	100 при 25 °С
У (умеренный климат)	3	+ 40	– 45	98 при 25 °С
УХЛ (умеренно-холодный климат)	4	+ 35	+ 1	80 при 25 °С
Т (тропический климат)	2	+ 50	– 10	100 при 35 °С
ХЛ, УХЛ	1,2	+ 40	– 60	100 при 25 °С
ОМ (морской климат)	2–5	+ 45	– 30	75 % при + 40 °С 95 % при + 25 °С

Устройство электродвигателя серии 5А и его основные конструктивные элементы показаны на рисунке 8.1.

Технические данные двигателей (мощность, напряжение, номинальный и пусковой ток, частота вращения и др.) указывают в паспорте, закрепленном на корпусе в виде таблички (рис. 8.2). В паспорте также указывают модификацию двигателя по исполнению и степени защиты от соприкосновения с токоведущими частями и от проникновения влаги. Тип двигателя для конкретного технологического механизма и условий работы выбирают в соответствии с проектом.

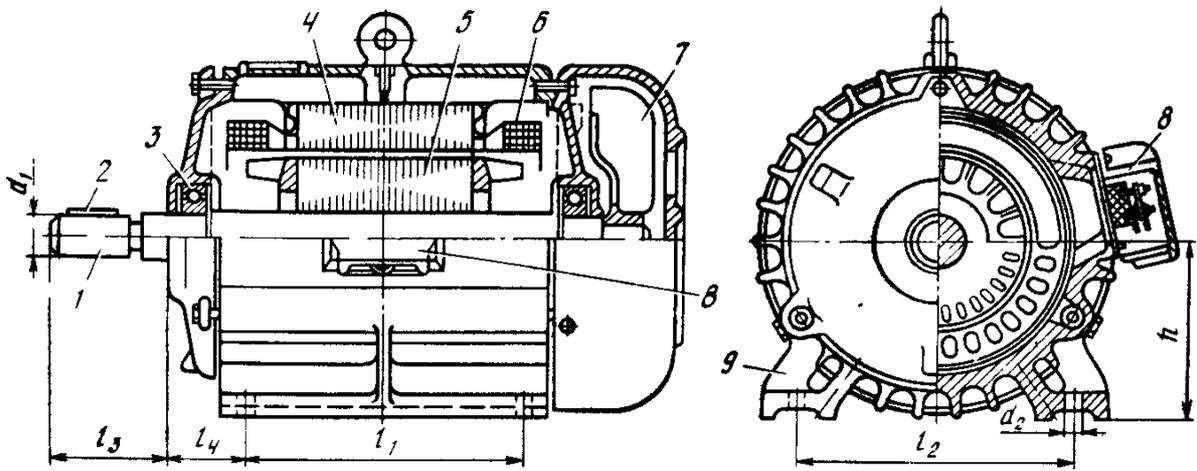


Рис. 8.1. Устройство и установочные размеры электродвигателя серии 5А:  
 1 – вал; 2 – шпонка; 3 – подшипник; 4 – статор; 5 – ротор; 6 – обмотка;  
 7 – вентилятор; 8 – коробка выводов; 9 – лапа;  $l_1, l_2$  – продольное и поперечное  
 расстояния между отверстиями в лапах;  $l_3$  – длина выступающего конца  
 вала;  $l_4$  – размер выступающей крышки;  $h$  – высота оси вращения;  
 $d_1, d_2$  – диаметры вала и отверстия в лапах



Рис. 8.2. Табличка для двигателей с высотой оси вращения 80–132 мм:  
 1 – наименование типа двигателя (включает обозначение серии, высоту оси  
 вращения, установочный размер по длине станины, число полюсов и др.);  
 2 – частота сети, Гц; 3 – обозначение нормативного документа;  
 4 – напряжение, В; 5 – схема соединения; 6 – мощность, кВт; 7 – частота  
 вращения, об/мин; 8 – номинальный ток, А; 9 – коэффициент мощности;  
 10 – дата выпуска двигателя (М и Г); 11 – заводской номер двигателя;  
 12 – масса двигателя, кг; 13 – класс изоляции; 14 – степень защиты;  
 15 – код органа сертификации; 16 – знак соответствия Росстандарта;  
 17 – режим работы двигателя

В настоящее время большое распространение в промышленности и в сельском хозяйстве получили двигатели серий АИР, 5А, 6А,

АН, ВА и 7А [1, 2]. Двигатели имеют различные конструктивные исполнения по способу монтажа в зависимости от габарита (табл. 8.2).

Таблица 8.2

### Способы монтажа электродвигателей

Конструктивное исполнение по способу монтажа	Обозначение	Диапазон применения по габаритам	Конструктивное исполнение по способу монтажа	Обозначение	Диапазон применения по габаритам
IM 1001 (IMB3)		80–315	IM1011 (IMV5)		80–250
IM 1031 (IMV6)		80–250	IM1051 (IMB6)		80–250
IM 1061 (IMV7)		80–250	IM1071 (IMB8)		80–250
IM 2001 (IMB35)		80–315	IM2011 (IMV15)		80–250
IM 2031 (IMV36)		80–250	IM2101 (IMB34)		80
IM 2111		80	IM2131		80
IM 3001 (IMB5)		80–180	IM3011 (IMV1)		80–250
IM 3031 (IMV3)		80–250	IM3601 (IMB44)		80
IM 3611 (IMV18)		80	IM 3631 (IMV19)		80

**Условные обозначения монтажных исполнений IM (International Mounting) в соответствии с ГОСТ 2479 (МЭК 60034-7):**

Структура обозначения монтажного исполнения [2]:

$IMX_1X_2X_3X_4$ ;

$X_1$  – конструктивное исполнение;

$X_2X_3$  – способ монтажа;

$X_4$  – исполнение выступающего конца вала;

$X_1$  (первая цифра в обозначении) – конструктивное исполнение двигателя:

1 – двигатели на лапах, с подшипниковыми щитами;

2 – двигатели на лапах с подшипниковыми щитами и фланцем на одном подшипниковом щите;

3 – двигатели без лап, с подшипниковыми щитами и фланцем на одном подшипниковом щите;

5 – двигатели без станины и подшипниковых щитов;

$X_2X_3$  (вторая и третья цифры в обозначении) – способ монтажа двигателя (смотри табл. 8.2).

$X_4$  (четвертая цифра в обозначении) – исполнение конца вала двигателя:

0 – без конца вала;

1 – с одним цилиндрическим концом вала;

2 – с двумя цилиндрическими концами вала.

До начала монтажа необходимо изучить проект и получить от заказчика документацию на оборудование: технические условия, паспорт, инструкцию по монтажу и пуску, комплектуючную ведомость и др.

**Ревизия электродвигателей.** Машины, полученные от заказчика или завода-изготовителя в собранном виде, на месте монтажа не разбирают. Перед установкой их расконсервируют (срок действия заводской консервации 3 года) и подвергают ревизии, при этом проверяют:

– двигатель во время хранения и транспортировки был ли подвержен чрезмерному загрязнению или воздействию влаги;

– отсутствие механических повреждений и дефектов на внешней поверхности двигателя;

– соответствие типа и исполнения двигателя данным заказа;

– соответствие типа двигателя и данных на паспортной табличке (напряжение, соединение фаз, климатическое и монтажное исполнение, и др.), записям в паспорте;

– вал вращается ли свободно;

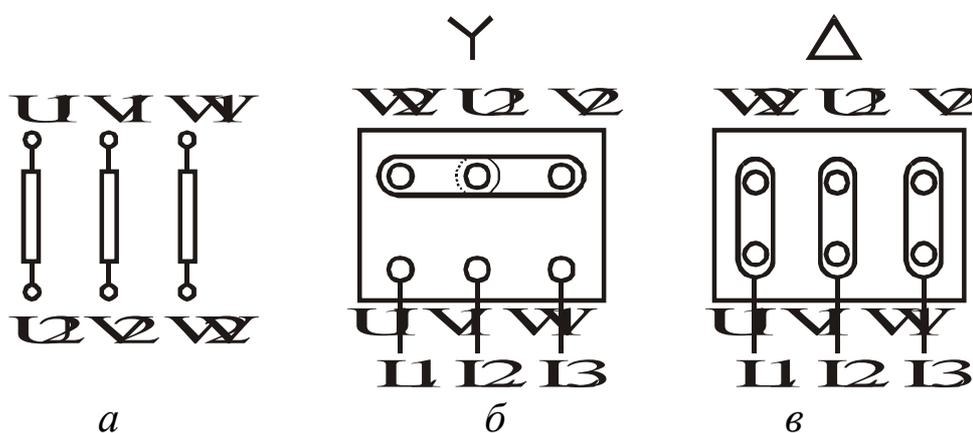
– другие выявленные несоответствия двигателя заказу и данным в каталоге продукции.

При входном контроле необходима проверка сопротивления изоляции обмоток, проверка работоспособности двигателя без на-

грузки и уровня вибрации.

**Проверка сопротивления изоляции.** Перед подключением двигателя к питающей сети необходимо проверить сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса и сопротивление изоляции терморезисторов (могут быть установлены для контроля температуры лобовых частей обмоток и температуры подшипников) относительно обмотки статора и относительно корпуса двигателя. Измерение сопротивления изоляции необходимо производить мегаомметром на 500 В.

Концы обмоток выводят в коробку выводов и обозначают буквами: начало обмотки первой фазы – U1; второй – V1; третьей – W1, а концы обмоток соответственно – U2, V2, W2 (рис. 8.3, а). Обмотки соединяют в звезду или в треугольник (рис. 8.3, б, в).



*Рис. 8.3. Схемы соединений обмоток трехфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором:  
а – схема обмоток; б – соединение обмоток в звезду; в – соединение обмоток в треугольник*

Сопротивление изоляции асинхронных двигателей напряжением до 1 кВ измеряют мегаомметром на 500 В в соответствии со схемой, представленной на рисунке 8.4, а, б. Для этого необходимо разобрать схему соединения обмоток двигателя, сняв соответствующие перемычки (рис. 8.3, б, в). Выполняются измерения сопротивления обмоток электродвигателя между собой и каждой обмотки относительно корпуса (например, W1–V2, W1–U2, V2–U2, корпус–W1, корпус–U2, корпус–V2).

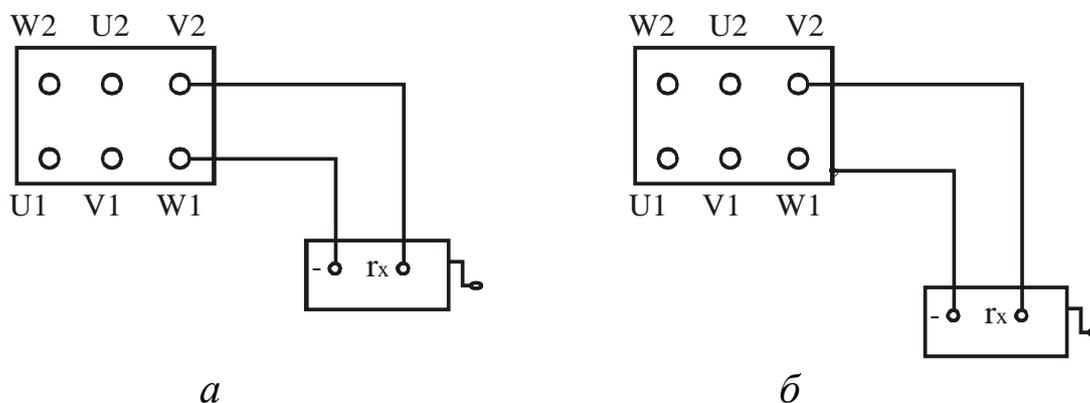


Рис. 8.4. Измерение сопротивления изоляции мегомметром:  
 а – между обмотками; б – между обмотками и корпусом

Сопротивление изоляции в нормальных климатических условиях должно быть:

- в практически холодном состоянии – не менее 10 МОм (при эксплуатации, после остывания до температуры окружающей среды и нормальной влажности воздуха);
- при температуре, близкой к рабочей – не менее 3 МОм (при эксплуатации, в нагретом состоянии);
- при верхнем значении влажности воздуха – не менее 0,5 МОм (после длительного хранения или продолжительной остановки, в условиях повышенной влажности) [6].

*Обмотка двигателя способна накапливать заряд. Во избежание поражения электрическим током, обмотки должны быть разряжены немедленно после проведения измерения.*

*Если сопротивление изоляции, измеренное при температуре 25 °С, ниже 0,5 МОм, двигатель необходимо подвергнуть сушке и последующей повторной проверке сопротивления изоляции.*

**Сушка электродвигателей [5].** Сушку двигателя можно производить внешним нагревом при температуре + 90 °С в сушильной камере. Если на предприятии отсутствует сушильная камера то можно воспользоваться другими способами. Способ сушки выбирают в зависимости от конструкции и мощности двигателя. Для двигателей мощностью до 15 кВт рекомендуют применять обогрев обмоток инфракрасными облучателями или лампами накаливания. Лампы располагают вблизи обмоток или внутри статора, а двигатель закрывают огнестойким кожухом с отверстиями для выхода испаряющейся влаги.

Двигатели мощностью 15–40 кВт сушат горячим воздухом от электрокалорифера или теплом, выделяемым в обмотках при протекании по ним тока. Для этого затормаживают ротор и плавно подают

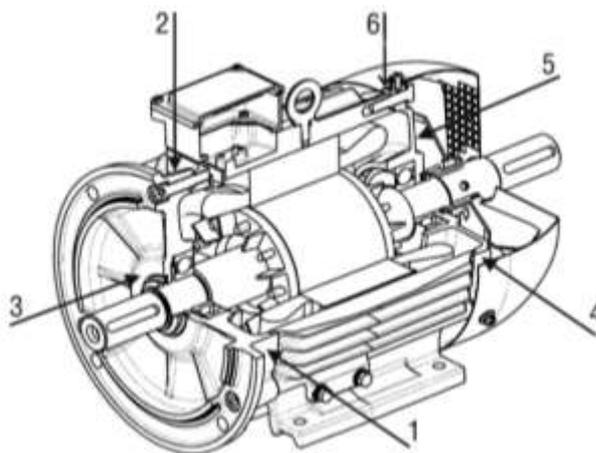
пониженное напряжение питания, при этом контролируют ток в обмотках двигателя. Устанавливают ток, равный 0,7–0,8 от номинального тока двигателя, при этом напряжение составляет 10–15 % от номинального напряжения двигателя. В процессе сушки следят, чтобы температура обмоток не превышала 80–90 °С.

Двигатели мощностью более 40 кВт сушат нагревом статора токами индукционных потерь (вихревыми токами). Режим сушки, во всех случаях, контролируют мегаомметром и термометром. Сопротивление изоляции измеряют через каждый час. Сушка считается законченной, если в течение 2–4 ч сопротивление изоляции не изменяется и составляет не менее 1 МОм. По результатам сушки составляют протокол.

При наличии в двигателе датчиков температурной защиты (исполнение Б) необходимо проверить сопротивление цепи терморезисторов. Сопротивление цепи терморезисторов (между клеммами Т1 и Т2) при температуре 0–40 °С должно находиться в пределах  $250 \pm 160$  Ом. Измерительное напряжение не должно превышать 7,5 В.

**Измерение уровня вибрации.** Перед монтажом двигателя на исполнительный механизм рекомендуется проверить уровень вибрации двигателя виброметром. Уровень вибрации двигателя отражает состояние подшипниковых узлов двигателя и качество балансировки ротора. Измерение уровня вибрации в процессе эксплуатации двигателя позволяет оценить состояние двигателя и необходимость проведения технического обслуживания.

Измерение вибрации производится в подвешенном состоянии, в точках, указанных на рисунке 8.5.



*Рис. 8.5. Точки измерения вибрации: 1, 2, 3 – измерение вибрации в трех плоскостях для переднего подшипника; 4, 5, 6 – измерение вибрации в трех плоскостях для заднего подшипника*

В двигателях с кожухом охлаждения в точках 4, 5, 6 измерения допускается не производить. Результат измерения не должен превышать значений, указанных в таблице 8.3.

Таблица 8.3

### Допустимые уровни вибрации двигателя (ГОСТ 20815-93)

Категория уровня вибрации	Число полюсов	Максимальное среднее квадратическое значение виброскорости $V_{\text{емax}}$ , мм/с для двигателей разных высот оси вращения		
		80–132	160–225	250–315
N (нормальная точность)	2	1,8	2,8	4,5
	4, 6, 8,10		1,8	2,8
R (повышенная точность)	2	1,12	1,8	2,8
	4, 6, 8,10	0,71	1,12	1,8
S (высокая точность)	2	0,71	1,12	1,8
	4, 6, 8,10	0,45	0,71	1,12

*ГОСТ 20815-93. При измерении вибрации двигатель подвешивают на пружине или устанавливают на упругой опоре (платформа, пружина, резина и т. д.). Собственная частота колебаний двигателя с системой подвески должна быть менее 1/4 частоты вращения двигателя. При измерении вибрации двигателя необходимо использовать полушпонку (шпонку половинной высоты или длины).*

#### **Транспортировка**

Транспортировка, погрузка и разгрузка двигателя должны обеспечивать его сохранность. Двигатели допускается перевозить любым видом крытого транспорта на любые расстояния.

*При перевозке двигателя ось вала должна располагаться поперек оси движения транспортного средства для предотвращения повреждения подшипников.*

*При перевозке и перемещении двигателей необходимо исключать их контакт с другими предметами, способными нанести повреждения.*

Погрузочно-разгрузочные работы при перевозке и перемещении двигателей производятся вилочатым погрузчиком или штабелером, мостовым краном или тельфером.

*Рым-болт двигателя рассчитан только на вес двигателя (Вес двигателя указан на паспортной табличке). Перед подъемом двигателя следует проверить состояние рым-болтов, при необходимости подтянуть.*

*Запрещается осуществлять подъем двигателя за выходной конец вала.*

*Запрещается поднимать за рым-болт двигатель с исполнительным механизмом.*

*Не допускается перемещение поврежденного транспортного пакета или ящика.*

*Не допускаются рывки или удары при перемещении двигателя.*

### **Хранение и консервация**

При хранении двигателей должны обеспечиваться следующие условия:

- двигатели следует хранить в упаковке или без нее в сухом и вентилируемом складе, свободном от вибрации и пыли;
- атмосфера склада не должна содержать кислотных, щелочных и других паров, вредно действующих на изоляцию и покрытия;
- при хранении не допускаются колебания температуры и влажности, вызывающие образование росы;
- при складировании упакованных в ящики двигателей следует руководствоваться надписями и маркировкой на упаковке;
- при хранении двигателей следует соблюдать сроки консервации.

*При консервации незащищенные места двигателей (выходные концы валов, фланцы, места под болты заземления и др.) покрываются антикоррозионной смазкой АМС-3, К-17.*

Срок консервации указывается в паспорте двигателя и составляет не менее 1 года. По истечении указанного срока необходимо произвести переконсервацию. Поверхности, подлежащие консервации, предварительно очистить от старой смазки и обезжирить. Переконсервация обязательно производится после морских перевозок двигателей. Во время хранения двигатели осматриваются не реже одного раза в год.

Перед монтажом двигателя на место постоянной эксплуатации, необходимо проверить фундамент двигателя, который должен отвечать следующим требованиям:

– Фундамент для установки двигателя должен быть ровным и не подверженным чрезмерной внешней вибрации. Двигатели должны устанавливаться на фундаментах и других опорах при вибрации внешних источников с ускорением не более  $10 \text{ м/с}^2$  (с повышенным скольжением –  $20 \text{ м/с}^2$ ) частотой до 55 Гц.

– Собственная частота колебаний фундамента с установленным двигателем не должна быть кратна частоте питающей сети.

– Фундамент и крепежные элементы двигателя должны быть стойкими к возможным усилиям при прямом пуске и при внезапном заклинивании исполнительного механизма.

– Крепежные болты двигателей должны быть туго затянуты и предохранены от самоотвинчивания во время работы.

– Металлические фундаменты должны быть покрыты антикоррозийной краской.

– Двигатели должны быть установлены таким образом, чтобы они были доступны для осмотра и замены, а также для технического обслуживания на месте установки.

Асинхронные двигатели являются видом электрических машин, преобразующих электрическую энергию в механическую. Принцип действия асинхронного двигателя основывается на электромагнитном взаимодействии между статором и ротором. Вращающееся магнитное поле статора, проникая в ротор, индуцирует в его обмотке электродвижущую силу. При взаимодействии тока ротора с вращающимся электромагнитным полем статора создается электромагнитный момент, приводящий ротор во вращение. Выделяемое при работе двигателя тепло необходимо отводить с помощью системы охлаждения.

Охлаждение двигателя должно учитывать следующие особенности:

– Для охлаждения двигателя во время работы необходимо обеспечить свободный приток охлаждающего воздуха и свободный отвод нагретого воздуха.

– Расстояние от воздухоподсасывающих отверстий до стенки (конструктивных элементов исполнительного механизма) должно быть не менее  $1/2$  высоты оси вращения двигателя.

– Воздухоподсасывающие отверстия следует оберегать от загрязнения.

– При монтаже убедитесь в том, что направление охлаждающего воздушного потока от кожуха вентилятора направлено в сторону переднего (рабочего) конца вала и двигатель расположен так, что близлежащие устройства или солнечное излучение не нагревают его.

**Установка электродвигателей.** Электродвигатели, входящие в комплект технологических механизмов (вентиляторы, насосы, дробилки и др.), монтируют организации, устанавливающие технологическое оборудование.

Монтаж двигателя на исполнительном механизме, осуществляется путем его крепления на фундаменте (раме, опоре) исполнительного механизма, с помощью предусмотренных для этой цели болтов или шпилек, через крепежные отверстия в лапах двигателя (фланце). Допустимые моменты затяжки болтовых соединений при монтаже двигателя представлены в таблице 8.4.

*Таблица 8.4*

**Допустимые моменты затяжки болтовых соединений  
при монтаже двигателя**

Диаметр резьбы, мм	Крутящий момент (Н×м) для силового резьбового соединения, деталей из разных материалов	
	сталь – чугун	сталь – алюминиевый сплав
M6	7,0–10,0	6,0–8,0
M8	15–30	10–20
M10	25–40	20–30
M12	45–60	40–50
M16	55–90	50–60

Для сопряжения рабочего вала двигателя с исполнительным механизмом применяются гибкие и жесткие муфты, шестерни, ременная передача или непосредственная насадка на вал двигателя рабочего органа исполнительного механизма. Способ сопряжения определяется конструкцией исполнительного механизма.

При насадке шкива, муфты или зубчатого колеса на вал двигателя необходимо обеспечить упор противоположного конца вала, чтобы усилия не передавались на подшипники.

Перед установкой на вал двигателя, элементов сопряжения (шкив, полумуфта, зубчатое колесо и др.), они предварительно нагреваются до температуры примерно 80 °С.

Для исключения повреждения подшипников при монтаже, запрещается:

- наносить удары (при насадке шкива полумуфты и др.);
- проводить электросварочные работы, если сварочный ток протекает между валом и станиной двигателя.

При сопряжении с муфтой вал двигателя должен быть отцентрирован в радиальном и аксиальном направлениях с валом исполнительного механизма. Перед центровкой необходимо убедиться в плотности посадки полумуфт на валы (путем удара молотком по торцу полумуфты при одновременном обхвате рукой стыка полумуфты с валом), проверить установку электродвигателя и исполнительного механизма по уровню, отсутствие биений при вращении валов. Валы центрируют при помощи скоб с установленными на них индикаторами, укрепленными на полумуфтах (рис. 8.6–8.8).

Измерение аксиальной несоосности (непараллельности осей) следует проводить по схеме представленной на рисунке 8.6, в четырех точках по окружности муфты, сдвинутых соответственно на угол 90° относительно друг друга при одновременном вращении обеих полумуфт. Результаты заносят в таблицу 8.5.

*Таблица 8.5*

Результат измерения несоосности

Зазор, мм	Положение валов (град)			
	0	90	180	270
А				
Б				

При устранении радиальной несоосности (смещения осей) использовать схему, представленную на рисунке 8.7.

Допускается использовать комбинированный способ измерения несоосностей (рис. 8.8). Допустимая аксиальная несоосность не должна превышать 0,05 мм на диаметре условно измеренного круга 200 мм.

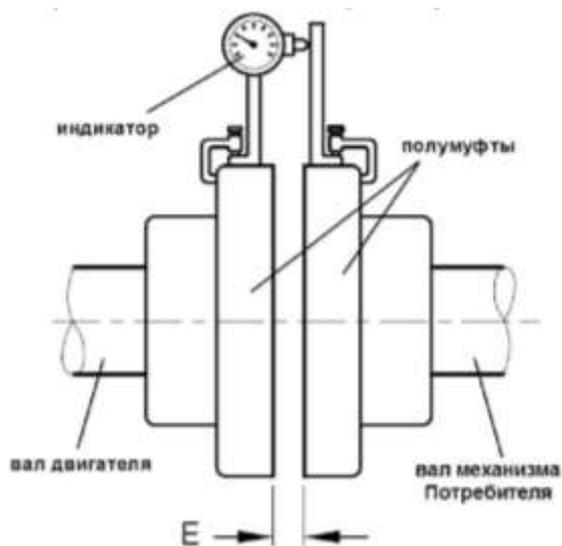


Рис. 8.6. Схема измерения аксиальной несоосности

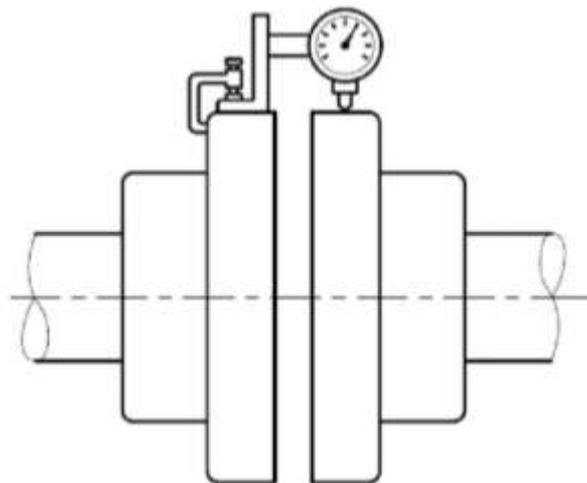


Рис. 8.7. Схема измерения радиальной несоосности

Аксиальный зазор между полумуфтами (размер «Е» на рис. 8.6) должен быть минимум 3 мм для компенсации теплового расширения вала во время работы.

При использовании ременной передачи необходимо обеспечить правильное взаимное расположение валов двигателя и исполнительного механизма. Валы двигателя и механизма должны быть строго параллельны. Параллельность проверяют стальной струной или линейкой. Ремень выбирают по размеру канавки шкива. Выверенный двигатель закрепляют и окончательно проверяют сохранность центровки валов после затяжки гаек анкерных болтов.

При регулировке натяжения ремней следует пользоваться руководством по эксплуатации (инструкцией) исполнительного механизма. Максимальное предварительное натяжение ремней должно выбираться, исходя из допустимых радиальных и осевых нагрузок на рабочий конец вала двигателя.

Для регулировки натяжения ремня конструкция исполнительного механизма должна предусматривать наличие натяжных салазок или натяжного ролика.

### **Электрическое подключение двигателей**

*Все работы, связанные с электрическим подключением двигателей, должны выполняться только квалифицированными специалистами-электриками, изучившими Руководство, Правила устройства и эксплуатации электроустановок и типовые Инструкции по охране труда при эксплуатации электроустановок.*

Для подключения обмотки статора к питающей сети в коробке выводов предусмотрена клеммная панель с контактными болтами (количество зависит от схемы соединений) и болт заземления.

*Заземление необходимо выполнить до подключения двигателя к сети!*

Подключение двигателя к сети следует производить, используя схему, расположенную на внутренней стороне крышки коробки выводов.

Перемычки на клеммной панели должны быть установлены, в зависимости от применяемого напряжения питающей сети (соединение в треугольник обозначается – «Δ», соединение в звезду обозначается – «Y»).

Конструкция коробок выводов предусматривает возможность подсоединения кабелей с медными жилами, с оболочкой из резины или пластика, а также проводов в гибком металлическом рукаве. Ввод осуществляется через один или два штуцера, либо через удлинитель под сухую разделку или эпоксидную заделку кабеля.

Сечение проводников силового кабеля выбирается исходя из номинального тока двигателя, указанного на паспортной табличке и допустимого значения тока в кабеле (таблицы 1.3.4 –1.3.10 [6]). При отсутствии паспортных данных, ток электродвигателя определяется по формуле

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} \text{ (A)}, \quad (8.1)$$

где  $I_n$  – номинальный ток электродвигателя, А;

$P_n$  – номинальная мощность на валу двигателя, Вт;

$U_n$  – номинальное напряжение сети, В;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности, о. е.;

$\eta$  – коэффициент полезного действия, о. е.

*Подключение силового питающего кабеля без наконечников недопустимо!* Последовательность закрепления кабельных наконечников на контактном болте должна соответствовать схеме, представленной на рисунке 8.9.

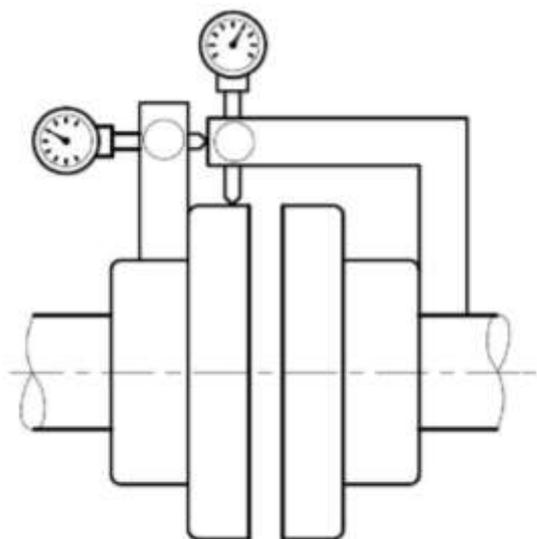


Рис. 8.8. Схема комбинированного измерения аксиальной и радиальной несоосностей

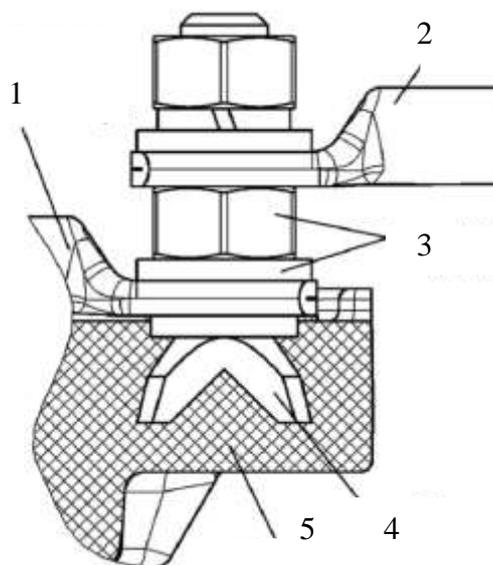


Рис. 8.9. Схема контактного соединения:  
 1 – кабельный наконечник вывода обмотки статора; 2 – кабельный наконечник подводящего провода;  
 3 – латунные гайка и шайба;  
 4 – контактный болт; 5 – панель

Чтобы не подвергать контактные болты и клеммную панель дополнительной нагрузке необходимо подвести силовой кабель без натяжения и надежно закрепить его во вводном устройстве.

Для обеспечения надежности электрического соединения выводов с контактными болтами двигателя, необходимо обеспечить моменты затяжки, указанные в таблице 8.6

Таблица 8.6

### Диапазоны допустимых моментов затяжки контактных соединений

Моменты затяжки контактных соединений, при разном диаметре резьбы, Н·м*						
M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16
1,0–2,0	3,0–5,0	6,0–8,0	10–20	20–30	40–50	50–60

\*Превышение указанных моментов затяжки приводит к разрушению клеммной панели.

После монтажа одного конца питающего кабеля к электродвигателю выполняется подключение второго конца питающего кабеля к устройству защиты двигателя. Применение защиты удорожает двигатель, поэтому выбор типа и количества защит определяется не только технической, но и экономической целесообразностью их установки.

Как правило, предусматриваются следующие виды защиты двигателей напряжением до 1 000 В:

- защита от коротких замыканий;
- защита от перегрузки.

Защита от перегрузки должна устанавливаться в тех случаях, когда возможна перегрузка механизма по технологическим причинам, а также при тяжелых условиях пуска и для ограничения длительности пуска при пониженном напряжении. Защита должна выполняться с выдержкой времени и может быть осуществлена тепловыми реле. Защита должна действовать на отключение при перегрузке двигателя.

*Правильный выбор и настройка защиты позволяют продлить ресурс безаварийной работы двигателя и повысить эксплуатационную надежность.*

Для защиты двигателей от коротких замыканий должны применяться предохранители или автоматические выключатели. При выборе автоматов для защиты асинхронных трехфазных электродвигателей необходимо руководствоваться действующими Правилами эксплуатации электроустановок с учетом того, что пусковой ток двигателя в 5–7 раз больше номинального.

Двигатели могут иметь встроенные в обмотку датчики температурной защиты. Температурная защита является наиболее эффективной защитой двигателей. Исполнительное устройство температурной защиты не входит в комплект поставки. Двигатели с датчиком температурной защиты имеют в наименовании дополнительную букву «Б». Конструктивно двигатели с датчиками температурной защиты отличаются наличием установленных в каждую фазу обмотки и соединенных последовательно терморезисторов (табл. 8.7).

Терморезисторы имеют нелинейную зависимость сопротивления от температуры. В холодном состоянии сопротивление цепи терморезисторов равно  $250 \pm 160$  Ом. При достижении обмоткой температуры срабатывания их сопротивление резко увеличивается. Исполнительное устройство температурной защиты должно отключать силовую цепь двигателя при достижении сопротивления цепи терморезисторов 1 650 Ом (время срабатывания при достижении указанного сопротивления должно быть не более 1 с).

### Параметры терморезисторов встроенной температурной защиты электродвигателя

Класс нагревостойкости изоляции	Обозначение типа терморезисторов по ТУ11-85 ОЖО.468.165ТУ	Температура срабатывания терморезистора (температура нагрева обмотки)
В (130 °С)	СТ14А-2-130	130°С
F (155 °С)	СТ14А-2-145	145°С
Н (180 °С)	СТ14А-2-160	160°С

**Пуск двигателя.** Качество монтажа электродвигателей проверяют включением в сеть вхолостую и под нагрузкой. Перед пуском двигателя убедитесь в надежности присоединения кабеля питания и заземления, крышка коробки выводов должна быть закрыта. Если двигатель запускается с оголенным рабочим концом вала, то шпонка должна быть заперта колпачком или же снята.

Перед пуском двигателя необходимо убедиться:

- в соответствии номинальной величины и частоты питающего напряжения, рабочему напряжению и частоте двигателя, указанному на паспортной табличке и в паспорте;

- в правильности соединения обмоток статора, для применяемого напряжения питания (только для двигателей с двойным напряжением питания).

Перед пуском двигателя необходимо проверить:

- наличие питающего напряжения во всех 3 фазах силовой сети и соответствие напряжения и частоты;

- исправность работы коммутирующих и защитных устройств (автоматов, пускателей и т. д.), применяемых для пуска двигателя.

Пуск двигателя необходимо проводить в следующей последовательности:

1. Убедиться в свободном вращении вала двигателя от руки.

2. Произвести пробный пуск двигателя без нагрузки (в режиме холостого хода), для этого двигатель отсоединяют от технологической машины и включают толчком в сеть. Не допуская полного разворота (25–30 % от номинальной частоты вращения), отключают и проверяют направление вращения и исправность механической части двигателя (отсутствие стука, заеданий, вибрации, шумов в подшипниках и т. п.).

3. После пробного пуска двигатель включают на час и проверяют: отсутствие стуков и задеваний вращающихся частей, прочность крепления к основанию, степень нагрева подшипников.

*Время работы без нагрузки двигателей габаритов 250–315 должно быть ограничено. При работе двигателя без нагрузки возможны характерные звуки, связанные с проскальзыванием тел качения в подшипниках по дорожкам. При длительной работе без нагрузки возможно разрушение подшипника.*

Для изменения направления вращения вала односкоростного двигателя необходимо на панели в коробке выводов поменять местами два любых провода кабеля питания.

Для изменения направления вращения вала многоскоростного двигателя необходимо на панели в коробке выводов поменять местами два любых провода кабеля питания обмотки каждой частоты вращения.

4. Проверить работу двигателя под нагрузкой с исполнительным механизмом в течение трех часов. При этом необходимо измерить рабочий ток, потребляемый двигателем. Измеренный ток не должен превышать номинальный, указанный на паспортной табличке, с учетом допустимых отклонений (несимметрия токов по фазам не должна превышать 5 %). Измеряют уровень вибрации двигателя. Если вибрация, измеренная в какой либо точке, в рабочем состоянии превышает значение вибрации двигателя (измеренной перед монтажом), то имеется несоосность (непараллельность) осей двигателя и исполнительного механизма, либо элементы стыковки двигателя и исполнительного механизма динамически несбалансированны, либо имеется неисправность в исполнительном механизме. В течение испытаний через каждые 30 мин измеряют температуру нагрева обмотки подшипников (не должна превышать предельно допустимую температуру в соответствии с классом нагревостойкости изоляции).

Двигатель, прошедший испытания под нагрузкой, передают рабочей комиссии для приемо-сдаточных испытаний.

### **Порядок выполнения работы**

1. В соответствии с индивидуальным заданием преподавателя расшифруйте условное обозначение электродвигателя (табл. 8.8). Определите номинальный ток электродвигателя по формуле (8.1). Произведите выбор питающего кабеля, магнитного пускателя (лабораторная работа 5) и теплового реле (лабораторная работа 6).

2. Вычертите эскиз монтажа электродвигателя и магнитного пускателя. Составьте указания по монтажу. Составьте заявку на материалы и инструмент для монтажа электродвигателя, пускателя и электропроводки между ними.

3. На электродвигателе, указанном преподавателем, определите начала и концы обмоток электродвигателя (рис. 8.3). Измерьте сопротивление изоляции двигателя (рис. 8.4), заполните протокол.

4. Выполните подключение электродвигателя к сети через коммутационные аппараты и аппараты защиты.

***Прежде чем подключать двигатель к сети, убедитесь в том, что отключен автоматический выключатель, питающий стенд. Убедитесь в целостности лабораторного оборудования и соединительных проводов.***

Соедините обмотки электродвигателя в звезду. Проверьте непрерывность цепи заземления электродвигателя.

5. ***После проверки преподавателем правильности проведенных коммутаций проводов, осуществите подачу напряжения на стенд.***

***Во избежание поражения электрическим током касаться руками клемм, других токоведущих деталей категорически запрещается.***

***При возникновении аварийных ситуаций, появлении запаха дыма и возникновении прочих аварийных режимов немедленно отключите автоматический выключатель и сообщите о неисправности лаборанту или преподавателю.***

6. Измените направление вращения электродвигателя.

7. Продемонстрируйте работу стенда преподавателю.

### Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Структура обозначения электродвигателей 6А, 7А.
3. Расчет номинального тока электродвигателя и выбор питающего кабеля, магнитного пускателя и теплового реле.
4. Эскиз монтажа электродвигателя.
5. Рисунки 8.1, 8.3, 8.4, 8.8.
6. Результаты испытаний сопротивления изоляции электродвигателя.

## Контрольные вопросы

1. Перечислите основные серии электродвигателей, выпускаемых в настоящее время.
2. Как различаются двигатели по классу энергоэффективности?
3. В чем состоят основные преимущества двигателей серии 7А?
4. За счет чего достигаются повышенные показатели надежности электродвигателей серии 7А?
5. Какие данные указываются в табличке на двигателе?
6. Что такое степень защиты электродвигателя?
7. Что такое климатическое исполнение электродвигателя?
8. Расшифруйте IM 2111.
9. Как подразделяются двигатели по конструктивному исполнению?
10. Расскажите последовательность ревизии электродвигателей.
11. Как измерить сопротивление изоляции электродвигателя?
12. В каких случаях требуется сушка электродвигателя?
13. Как высушить электродвигатель мощностью 2,2 кВт?
14. В каких точках выполняют измерение уровня вибрации?
15. Какие требования предъявляют к транспортировке двигателей?
16. Какие условия необходимо обеспечить при хранении двигателей?
17. Какие требования предъявляются к фундаментам?
18. Как выполняют монтаж электродвигателей?
19. Расскажите последовательность центровки валов.
20. Расскажите об особенностях монтажа клиноременной передачи.
21. Как выполнить заземление электродвигателя?
22. Как присоединяют электродвигатель к электрической сети?
23. Что такое встроенная температурная защита электродвигателя?
24. Как опробовать двигатель вхолостую и под нагрузкой?
25. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?

## Технические характеристики двигателей основного исполнения

Но- мер п/п	Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Коэффициент полезного действия, %	Коэффициент мощности	Номинальный ток при 380 В, А	Номинальный момент, Нм	Индекс механической характеристики	Отношение пускового мо- мента к номинальному моменту	Отношение пускового тока к номинальному току	Отношение $M_{max}/M_{nom}$	Динамический момент инерции ротора, кг·м <sup>2</sup>	Масса IM1001, кг	Сервис фактор
Степень защиты IP54, класс нагревостойкости изоляции «F», 2p=2; n = 3000 об/мин														
1	5A80MA2	1,5	2850	80,0	0,84	3,4	5,0	I	2,4	6,5	2,5	0,0018	14	1,15
2	5AMX132M2	11	2915	88,5	0,90	21,0	36	I	2,5	8,0	3,3	0,024	69,5	1,15
3	7AVER 160M2ie1C	18,5	2920	90,0	0,89	35,1	60,5	I	2,2	7,0	2,9	0,039	125	1,15
4	7AVER 160M2ie2	18,5	2920	91,8	0,90	34,1	60,5	I	2,4	7,4	3,1	0,045	111	1,15
5	AIP180M2	30	2940	91,5	0,89	56,0	97	I	2,4	8,0	3,3	0,076	180	1,10
6	5A225M2	55	2950	93,4	0,91	98,3	178	I	2,3	7,5	2,8	0,21	340	1,10
Степень защиты IP54, класс нагревостойкости изоляции «F», 2p=4; n = 1500 об/мин														
7	5A80MB4	1,5	1410	75,0	0,81	3,8	10	I	1,9	5,5	2,2	0,0036	14,7	1,15
8	AIPM132M4	11	1455	89,0	0,85	22,1	72,2	I	2,2	7,3	3,0	0,045	83,5	1,15
9	7AVER 160S4ie2	15	1450	91,8	0,82	30,3	99	I	2,4	7,2	3,0	0,087	120	1,15
10	5A200L4	45	1470	92,5	0,85	87,0	292	I	2,8	7,1	2,8	0,32	270	1,10
Степень защиты IP54, класс нагревостойкости изоляции «F», 2p=6; n = 1000 об/мин														
11	5A80MA6	0,75	930	70,0	0,68	2,4	7,7	I	2,0	4,5	2,3	0,0033	14	1,15
12	5AM112MA6	3	950	81,0	0,80	7,0	30,2	I	2,3	5,5	2,6	0,024	50,5	1,15
13	7AVER 160M6ie2	15	970	90,6	0,8	31,5	148	I	2,2	7,5	3	0,17	138	1,15
14	AIP180M6	18,5	980	89,5	0,84	37,4	180	I	1,9	6,5	2,7	0,27	180	1,15
15	5A225M6	37,5	980	91,5	0,84	73,1	361	I	2,3	6,2	2,5	0,65	330	1,1

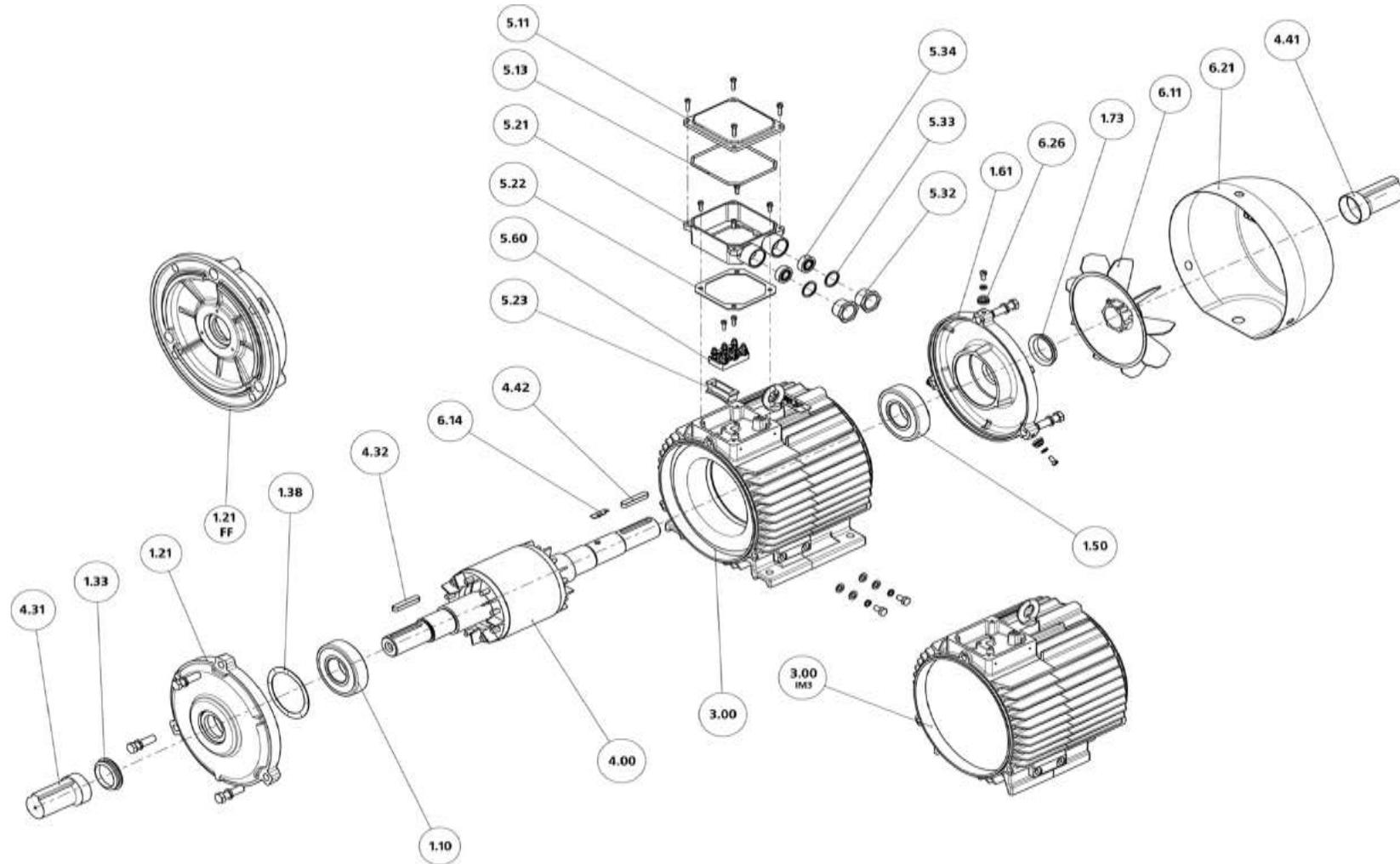


Рис. 8.10. Конструкция, основные узлы и детали двигателей с высотой оси вращения 80–132 мм, степень защиты IP55

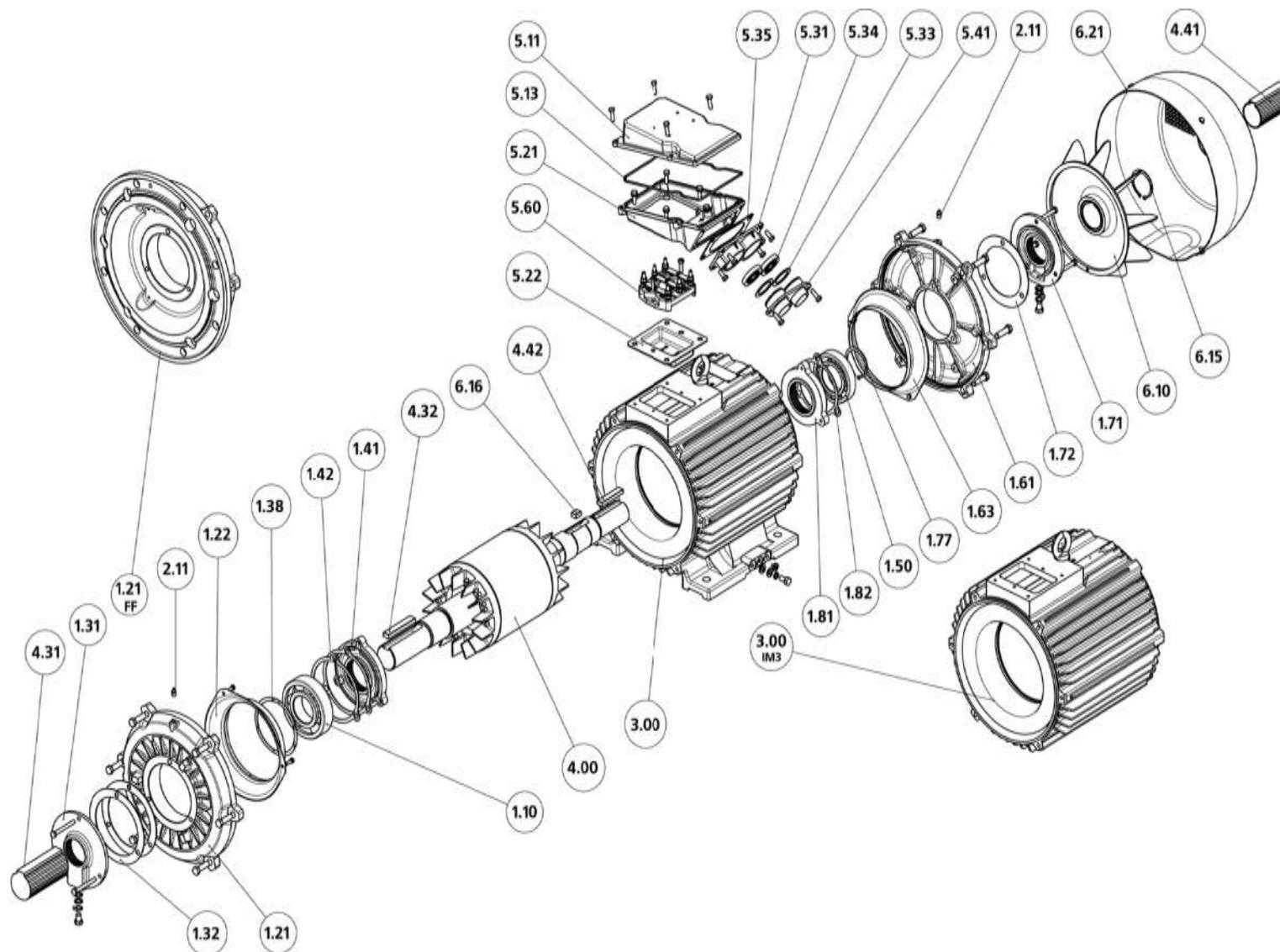


Рис. 8.11. Конструкция, основные узлы и детали двигателей с высотой оси вращения 160–280 мм, степень защиты IP5

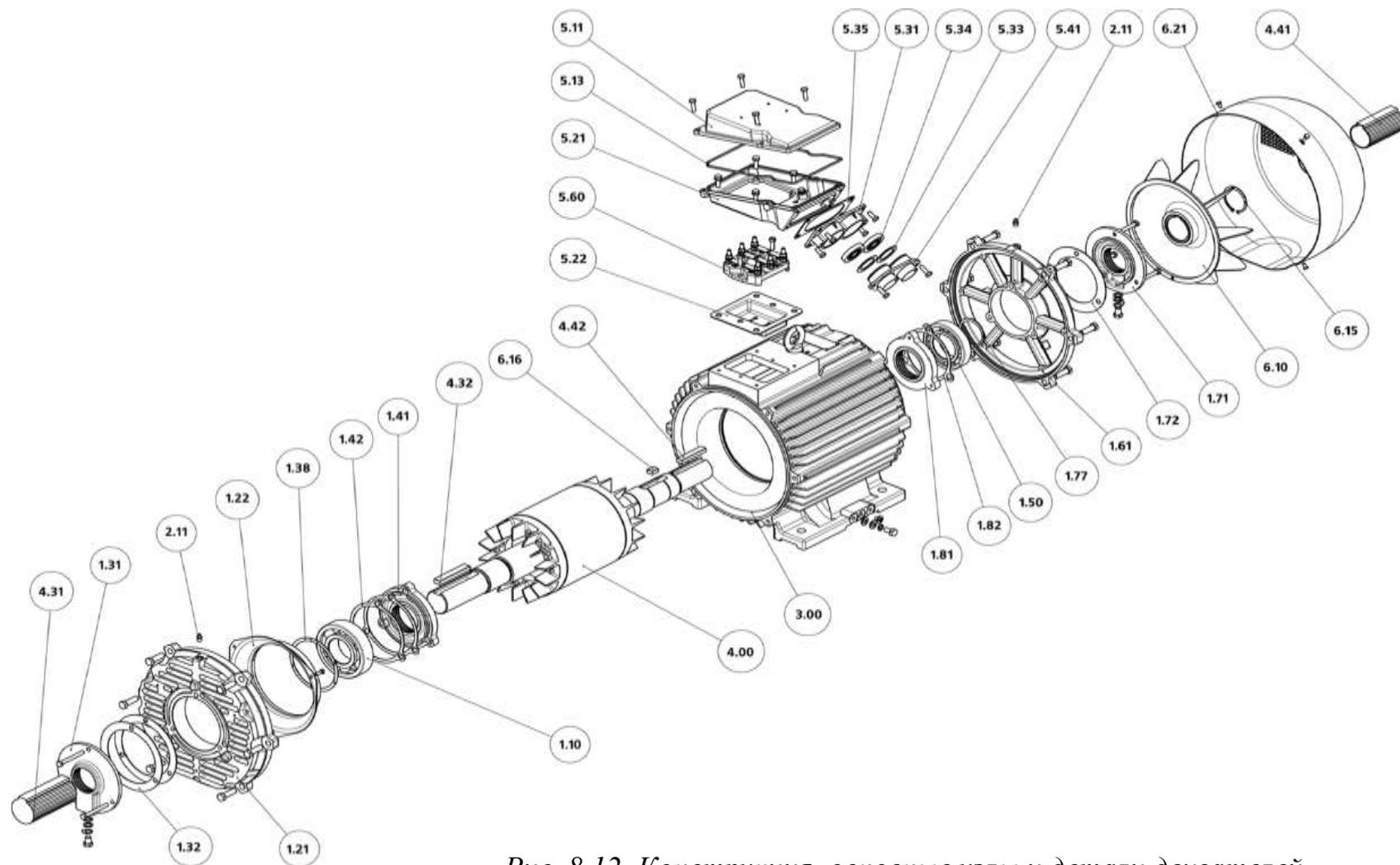


Рис. 8.12. Конструкция, основные узлы и детали двигателей с высотой оси вращения 200 мм, степень защиты IP23

**Условные обозначения элементов электродвигателя**  
(рис. 8.10, 8.11, 8.12)

1.10 – Подшипник передний	2.25 – Прокладка сливной камеры
1.21 – Подшипниковый щит	3.00 – Статор
1.21 FF – Подшипниковый щит фланцевый	3.00 IM3 – Статор (монтажное исполнение IM3)
1.22 – Воронка (дефлектор)	4.00 – Ротор
1.31 – Крышка подшипника передняя наружная	4.31 – Колпачок защитный на рабочий конец вала
1.32 – Прокладка передняя наружная	4.32 – Шпонка на рабочий конец вала
1.33 – Уплотнение (манжета)	4.41 – Колпачок защитный на второй конец вала
1.35 – Маслоотражающее кольцо	4.42 – Шпонка на второй конец вала
1.36 – Кольцо уплотнительное	5.01 – Планка (подставка)
1.37 – Кольцо упорное пружинное	5.11 – Крышка вводного устройства
1.38 – Пружина гофрированная невинтовая	5.13 – Прокладка под крышку
1.41 – Крышка подшипника передняя внутренняя	5.21 – Корпус вводного устройства
1.42 – Прокладка передняя внутренняя	5.22 – Прокладка под корпус
1.50 – Подшипник задний (B)	5.23 – Прокладка в окно станины
1.61 – Подшипниковый щит	5.31 – Фланец
1.63 – Воронка (дефлектор)	5.32 – Гайка нажимная резьбовая
1.71 – Крышка подшипника задняя наружная	5.33 – Шайба нестандартная под уплотнение
1.72 – Прокладка задняя наружная	5.34 – Уплотнение
1.73 – Уплотнение (манжета)	5.35 – Прокладка под фланец
1.75 – Маслоотражающее кольцо	5.41 – Фланец не резьбовой прижимной
1.76 – Кольцо уплотнительное	5.60 – Панель
1.77 – Кольцо упорное пружинное	6.10 – Вентилятор металлический сборный
1.81 – Крышка подшипника задняя внутренняя	6.11 – Вентилятор пластмассовый
1.82 – Прокладка задняя внутренняя	6.14 – Пластина для закрепления вентилятора
2.11 – Масленка	6.15 – Кольцо упорное пружинное
2.12 – Трубка маслопровода	6.16 – Шпонка под вентилятор
2.13 – Трубка маслопровода	6.20 – Кожух сборный
2.14 – Кронштейн крепления трубки	6.21 – Кожух
2.24 – Пластина сливной камеры	6.26 – Втулка амортизационная

## Библиографический список

1. Российский электротехнический концерн РУСЭЛПРОМ [Официальный сайт] URL: <http://www.ruselprom.ru> (дата обращения 12.10.2015 г.).
2. ОАО Владимирский электромоторный завод [Официальный сайт] URL: [www.vemp.ru](http://www.vemp.ru) (дата обращения 12.10.2015 г.).
3. Научно-исследовательский проектно-конструкторский и технологический институт электромашиностроения [Официальный сайт] URL: <http://www.niptiem.ru> (дата обращения 12.10.2015 г.).
4. ОАО «Ярославский электромашиностроительный завод» Стандартные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором [Официальный сайт] URL: <http://www.eldin.ru> (дата обращения 12.10.2015 г.).
5. Двигатели асинхронные трехфазные общепромышленного назначения степень защиты IP23, IP44, IP54, IP55 [Руководство по эксплуатации] URL: [http://www.vemp.ru/pdf/Instr\\_IP23\\_44\\_54\\_55.pdf](http://www.vemp.ru/pdf/Instr_IP23_44_54_55.pdf) (дата обращения 12.10.2015 г.).
6. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2013. – 464 с.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уважаемые студенты, закончив изучение учебного пособия «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации» (часть I) и выполнив работы в лаборатории, вы освоили большую часть данной дисциплины, связанной с технологией выполнения электромонтажных работ, изучением конструкции и исследованием защитных характеристик коммутационных аппаратов и устройств защиты, а также монтажом электрических двигателей и схем управления ими. Вы получили необходимую теоретическую и практическую подготовку.

Впереди вас ждет вторая часть учебного пособия «Монтаж электрооборудования и средств автоматизации», по которой вы изучите монтаж различных электропроводок, кабельных и воздушных линий электропередач, монтаж трансформаторных подстанций и заземляющих устройств.

Проблемы монтажа электрооборудования особенно остро стоят в настоящее время, поскольку требуется большой объем работ по реконструкции и техническому перевооружению морально устаревших и физически изношенных электроустановок сельскохозяйственного производства, генерирующих и электроснабжающих предприятий. Необходимо осваивать передовые приемы, методы и технические средства для монтажа новейшего отечественного и зарубежного электрооборудования, которые постоянно совершенствуются.

Хорошо, если вам удастся решить ваши будущие производственные задачи с помощью полученных знаний и умений. Неплохо, если вам придется обратиться к специальной литературе или системе Internet, где вы найдете готовое решение или подсказку к решению проблемы. Но не исключено, что вам самим придется ставить и решать задачи по монтажу будущих энергетических установок.

Если в решении этих задач учебное пособие окажет вам какую-нибудь помощь, авторы будут считать свою работу не напрасной. А пока нам остается только пожелать всяческих успехов нашим читателям.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	3
<b>ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ</b>	6
Правила выполнения лабораторных работ и техники безопасности	6
Требования к оформлению отчёта	8
<b>РАЗДЕЛ 1. ВЫПОЛНЕНИЕ КРЕПЕЖНЫХ РАБОТ В ЭЛЕКТРОМОНТАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</b>	9
Лабораторная работа 1. Механизация крепёжных работ в электромонтажном производстве	9
<b>РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ</b>	47
Лабораторная работа 2. Изучение конструкции и защитных характеристик предохранителей	47
Лабораторная работа 3. Изучение конструкции и исследование защитных характеристик автоматических выключателей	87
Лабораторная работа 4. Изучение конструкции и исследование защитных характеристик устройств защитного отключения	132
Лабораторная работа 5. Изучение конструкции, технологии монтажа и схем включения магнитных пускателей	176
Лабораторная работа 6. Изучение конструкции и исследование защитных характеристик тепловых реле	214
<b>РАЗДЕЛ 3. МОНТАЖ СИЛОВОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ</b>	231
Лабораторная работа 7. Монтаж коммутационных аппаратов, распределительных устройств и вторичных цепей в установках напряжением до 1000 В	231
Лабораторная работа 8. Монтаж электрических двигателей	258
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	289

# **Монтаж электрооборудования и средств автоматизации**

Учебное пособие

Часть 1

Бастрон Андрей Владимирович,  
Чебодаев Александр Валерьевич,  
Черных Алексей Георгиевич

Редактор М.М. Ионина

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 30.08.2016. Формат 60×90/16. Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 18,25. Тираж 70 экз. Заказ № 235

Редакционно-издательский центр Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117