



**А.А.ПЯСТОЛОВ
А.А.МЕШКОВ
А.Л.ВАХРАМЕЕВ**

**МОНТАЖ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ
И РЕМОНТ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

631.3
П-991

А. А. ПЯСТОЛОВ
А. А. МЕШКОВ
А. Л. ВАХРАМЕЕВ

МОНТАЖ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальности 1510 — «Электрификация сельского хозяйства»

Библиотека
Сам СХИ
И.Н.В.



МОСКВА «КОЛОС» 1981

ББК 40.7

П99

УДК 631.371:621.313/314.004.67(075.8)

Авторы: доктор технических наук А. А. Пястолов (введение, разделы первый, третий, кроме глав II и III, и четвертый), кандидаты технических наук А. А. Мешков (главы I, II, III и VII второго раздела) и А. Л. Вахрамеев (главы IV, V и VI второго раздела и II и III третьего раздела).

Рецензенты: кандидаты технических наук, доценты М. Ф. Сагач (УСХА), В. Н. Ванурин и Н. П. Тимошенко (АЧИМСХ).
Редактор — инженер В. М. Никитина.

Пястолов А. А. и др.

П 99 Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования/А. А. Пястолов, А. А. Мешков, А. Л. Вахрамеев. — М.: Колос, 1981. — 335 с., ил. — (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).

Книга написана в соответствии с программами «Монтаж электрооборудования» и «Эксплуатация и ремонт электрооборудования». Она предназначена в качестве учебного пособия для студентов факультетов электрификации сельского хозяйства. Основное внимание уделено специфике монтажа, эксплуатации и ремонта электрооборудования в условиях сельскохозяйственного производства. Книга может оказаться полезной и инженерно-техническим работникам, связанным с монтажом, эксплуатацией и ремонтом сельскохозяйственных электроустановок.

П $\frac{40205-004}{035(01)-81}$ 63-81. 3802040200

ББК 40.7
631.3

© Издательство «Колос», 1981

ВВЕДЕНИЕ

В подъеме экономики нашей страны, повышении народного благосостояния огромна роль сельского хозяйства.

Мартовский (1965 г.) Пленум ЦК КПСС заложил основы ленинской аграрной политики на современном этапе. Решая стратегическую задачу — добиться надежного обеспечения страны продовольствием и промышленным сырьем, партия осуществила крупные шаги по значительному укреплению материально-технической базы сельскохозяйственного производства прежде всего путем ускорения темпов механизации и электрификации технологических процессов, химизации и мелиорации земель, комплексного развития этой важной отрасли народного хозяйства.

Июльский (1978 г.) Пленум ЦК КПСС положил начало новому этапу в аграрной политике партии, разработал конкретную комплексную программу дальнейшего развития сельского хозяйства СССР. Пленум высоко поднял значение электрификации как одной из основ интенсификации сельского хозяйства.

Концентрация и специализация сельскохозяйственного производства, перевод его на промышленную основу способствовали оснащению его значительным количеством современной разнообразной техники, в том числе электрооборудованием и электроустановками.

Для современного сельскохозяйственного производства характерно большое число автоматизированных установок водоснабжения и орошения, высокопроизводительных поточных агрегатов по сушке и сортировке зерна, поточных линий, цехов и заводов приготовления кормов, крупных птицефабрик, комплексов промышленного типа по откорму свиней на десятки и сотни тысяч голов животных, по откорму крупного рогатого скота на десятки тысяч голов, агрофабрик закрытого грунта и других предприятий с комплексной механизацией всех процессов производства. Комплексы промышленного типа обеспечены установками микроклимата; для надежности электроснабжения предусмотрено питание их от нескольких трансформаторных подстанций, присоединенных к различным районам электрических сетей; на комплексах установлено от нескольких сотен до тысячи и более электродвигателей и много различной пускозащитной аппаратуры и аппаратуры автоматики.

При высокой электровооруженности сельскохозяйственного производства особую значимость приобретают вопросы рациональной эксплуатации и ремонта электрооборудования. Эксплуатация электрооборудования в сельском хозяйстве имеет свои особенности, связанные с условиями среды и режимами работы электрооборудования, сезонностью его использования, наличием однофазных токоприемников, качеством питающего напряжения от воздушных линий электропередач, разрозненностью токоприемников на значительные расстояния одного от другого и недостатком высококвалифицированных кадров эксплуатационного персонала. Только обеспечение эксплуатационной надежности электрооборудования позволит сохранить непрерывность технологических процессов сельскохозяйственного производства. Повышение уровня технической эксплуатации энергетического и электротехнического оборудования и установок в сельском хозяйстве предусмотрено постановлением ЦК КПСС и СМ СССР (1979 г.) «О мерах по дальнейшему развитию электрификации сельского хозяйства».

Повышение эксплуатационной надежности электрооборудования в сельском хозяйстве может быть обеспечено правильным выбором электрооборудования с учетом всех специфических условий производства, применением соответствующих электротехнических материалов при эксплуатации, ремонте и модернизации электрооборудования, приближением технологии ремонта электрооборудования к технологии его изготовления и соблюдением системы планово-предупредительного ремонта и обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППРЭСх).

Эти почетные и очень важные для сельского хозяйства задачи выполняются электротехническими службами хозяйств, межхозяйственными объединениями «Сельхозэнерго», а также объединениями Госкомитета СССР по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства (Госкомсельхозтехника).

Наука об эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве находится еще в стадии становления. Ее совершенствование зависит от творчества ученых научно-исследовательских и учебных институтов и работников производства, от разработки соответствующей учебной и производственной литературы, рекомендаций, норм и т. п., выпуск которых еще недостаточен. Настоящая книга предназначена частично восполнить этот пробел.

Раздел первый

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ МОНТАЖЕ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Глава I

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Классификация электротехнических материалов

В настоящем разделе рассмотрены характерные особенности электротехнических материалов, наиболее распространенных при монтаже, эксплуатации и ремонте. Эти материалы в зависимости от их электрических свойств делятся на следующие группы.

1. **Электроизоляционные материалы**, или диэлектрики, отличающиеся очень малой удельной проводимостью и предназначенные для изолирования токоведущих частей.

2. **Проводниковые материалы**, отличающиеся в противоположность диэлектрикам большой удельной проводимостью и предназначенные для создания токоведущих частей электрических аппаратов и машин.

3. **Магнитные материалы**, обладающие большой магнитной проницаемостью и используемые для создания путей прохождения магнитного потока.

4. **Полупроводниковые материалы**, занимающие по удельной проводимости промежуточное положение между проводниками и диэлектриками; их проводимость зависит от направления прохождения тока, и в зависимости от этого они выполняют роль первых или вторых материалов.

Кроме того, следует выделить **конструкционные материалы**, обладающие достаточной механической прочностью и используемые для соединения отдельных деталей и узлов оборудования.

При эксплуатации оборудования применяются и другие специальные материалы, такие, как **охлаждающие среды, смазочные средства, уплотняющие вещества** и т.п. Качество материалов постоянно улучшается, в результате новых научных открытий советских и зарубежных ученых непрерывно появляются новые материалы, более совершенные. Электропромышленность обеспечивает повышение технико-экономических показателей выпускаемой продукции, а работники эксплуатации при проведении технического обслуживания и ремонта электрооборудования могут не только восстанавливать его работоспособность, но и заметно повышать эксплуатационную надежность и срок службы оборудования.

При высокой электровооруженности сельскохозяйственного производства особую значимость приобретают вопросы рациональной эксплуатации и ремонта электрооборудования. Эксплуатация электрооборудования в сельском хозяйстве имеет свои особенности, связанные с условиями среды и режимами работы электрооборудования, сезонностью его использования, наличием однофазных токоприемников, качеством питающего напряжения от воздушных линий электропередач, разрозненностью токоприемников на значительные расстояния одного от другого и недостатком высококвалифицированных кадров эксплуатационного персонала. Только обеспечение эксплуатационной надежности электрооборудования позволит сохранить непрерывность технологических процессов сельскохозяйственного производства. Повышение уровня технической эксплуатации энергетического и электротехнического оборудования и установок в сельском хозяйстве предусмотрено постановлением ЦК КПСС и СМ СССР (1979 г.) «О мерах по дальнейшему развитию электрификации сельского хозяйства».

Повышение эксплуатационной надежности электрооборудования в сельском хозяйстве может быть обеспечено правильным выбором электрооборудования с учетом всех специфических условий производства, применением соответствующих электротехнических материалов при эксплуатации, ремонте и модернизации электрооборудования, приближением технологии ремонта электрооборудования к технологии его изготовления и соблюдением системы планово-предупредительного ремонта и обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППРЭСх).

Эти почетные и очень важные для сельского хозяйства задачи выполняются электротехническими службами хозяйств, межхозяйственными объединениями «Сельхозэнерго», а также объединениями Госкомитета СССР по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства (Госкомсельхозтехника).

Наука об эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве находится еще в стадии становления. Ее совершенствование зависит от творчества ученых научно-исследовательских и учебных институтов и работников производства, от разработки соответствующей учебной и производственной литературы, рекомендаций, норм и т. п., выпуск которых еще недостаточен. Настоящая книга предназначена частично восполнить этот пробел.

Раздел первый

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ МОНТАЖЕ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ



Глава I

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Классификация электротехнических материалов

В настоящем разделе рассмотрены характерные особенности электротехнических материалов, наиболее распространенных при монтаже, эксплуатации и ремонте. Эти материалы в зависимости от их электрических свойств делятся на следующие группы.

1. Электроизоляционные материалы, или диэлектрики, отличающиеся очень малой удельной проводимостью и предназначенные для изолирования токоведущих частей.

2. Проводниковые материалы, отличающиеся в противоположность диэлектрикам большой удельной проводимостью и предназначенные для создания токоведущих частей электрических аппаратов и машин.

3. Магнитные материалы, обладающие большой магнитной проницаемостью и используемые для создания путей прохождения магнитного потока.

4. Полупроводниковые материалы, занимающие по удельной проводимости промежуточное положение между проводниками и диэлектриками; их проводимость зависит от направления прохождения тока, и в зависимости от этого они выполняют роль первых или вторых материалов.

Кроме того, следует выделить конструкционные материалы, обладающие достаточной механической прочностью и используемые для соединения отдельных деталей и узлов оборудования.

При эксплуатации оборудования применяются и другие специальные материалы, такие, как охлаждающие среды, смазочные средства, уплотняющие вещества и т. п. Качество материалов постоянно улучшается, в результате новых научных открытий советских и зарубежных ученых непрерывно появляются новые материалы, более совершенные. Электропромышленность обеспечивает повышение технико-экономических показателей выпускаемой продукции, а работники эксплуатации при проведении технического обслуживания и ремонта электрооборудования могут не только восстанавливать его работоспособность, но и заметно повышать эксплуатационную надежность и срок службы оборудования.

При высокой электровооруженности сельскохозяйственного производства особую значимость приобретают вопросы рациональной эксплуатации и ремонта электрооборудования. Эксплуатация электрооборудования в сельском хозяйстве имеет свои особенности, связанные с условиями среды и режимами работы электрооборудования, сезонностью его использования, наличием однофазных токоприемников, качеством питающего напряжения от воздушных линий электропередач, разрозненностью токоприемников на значительные расстояния одного от другого и недостатком высококвалифицированных кадров эксплуатационного персонала. Только обеспечение эксплуатационной надежности электрооборудования позволит сохранить непрерывность технологических процессов сельскохозяйственного производства. Повышение уровня технической эксплуатации энергетического и электротехнического оборудования и установок в сельском хозяйстве предусмотрено постановлением ЦК КПСС и СМ СССР (1979 г.) «О мерах по дальнейшему развитию электрификации сельского хозяйства».

Повышение эксплуатационной надежности электрооборудования в сельском хозяйстве может быть обеспечено правильным выбором электрооборудования с учетом всех специфических условий производства, применением соответствующих электротехнических материалов при эксплуатации, ремонте и модернизации электрооборудования, приближением технологии ремонта электрооборудования к технологии его изготовления и соблюдением системы планово-предупредительного ремонта и обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППРЭСх).

Эти почетные и очень важные для сельского хозяйства задачи выполняются электротехническими службами хозяйств, межхозяйственными объединениями «Сельхозэнерго», а также объединениями Госкомитета СССР по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства (Госкомсельхозтехника).

Наука об эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве находится еще в стадии становления. Ее совершенствование зависит от творчества ученых научно-исследовательских и учебных институтов и работников производства, от разработки соответствующей учебной и производственной литературы, рекомендаций, норм и т. п., выпуск которых еще недостаточен. Настоящая книга предназначена частично восполнить этот пробел.

Раздел первый

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ МОНТАЖЕ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Глава I

ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Классификация электротехнических материалов

В настоящем разделе рассмотрены характерные особенности электротехнических материалов, наиболее распространенных при монтаже, эксплуатации и ремонте. Эти материалы в зависимости от их электрических свойств делятся на следующие группы.

1. Электроизоляционные материалы, или диэлектрики, отличающиеся очень малой удельной проводимостью и предназначенные для изолирования токоведущих частей.

2. Проводниковые материалы, отличающиеся в противоположность диэлектрикам большой удельной проводимостью и предназначенные для создания токоведущих частей электрических аппаратов и машин.

3. Магнитные материалы, обладающие большой магнитной проницаемостью и используемые для создания путей прохождения магнитного потока.

4. Полупроводниковые материалы, занимающие по удельной проводимости промежуточное положение между проводниками и диэлектриками; их проводимость зависит от направления прохождения тока, и в зависимости от этого они выполняют роль первых или вторых материалов.

Кроме того, следует выделить конструкционные материалы, обладающие достаточной механической прочностью и используемые для соединения отдельных деталей и узлов оборудования.

При эксплуатации оборудования применяются и другие специальные материалы, такие, как охлаждающие среды, смазочные средства, уплотняющие вещества и т. п. Качество материалов постоянно улучшается, в результате новых научных открытий советских и зарубежных ученых непрерывно появляются новые материалы, более совершенные. Электропромышленность обеспечивает повышение технико-экономических показателей выпускаемой продукции, а работники эксплуатации при проведении технического обслуживания и ремонта электрооборудования могут не только восстанавливать его работоспособность, но и заметно повышать эксплуатационную надежность и срок службы оборудования.

Электротехнические материалы по их физическому состоянию подразделяют на газообразные, жидкие и твердые. По происхождению материалы делятся на естественные (природные) и искусственные (синтетические).

§ 2. Общие положения. Свойства электроизоляционных материалов

Диэлектрики составляют наиболее многочисленную группу электротехнических материалов как по своему разнообразию и свойствам, так и по применению.

Свойства электроизоляционных материалов зависят от многочисленных факторов; агрегатного состояния, структуры (кристаллические или аморфные), температуры, влажности, давления окружающей среды и ее химического состава, приложенного напряжения, его частоты, степени загрязнения материала и т. п. В зависимости от свойств диэлектриков существуют три группы характеристик: диэлектрические, механические, физико-химические. Требования, предъявляемые к той или другой группе характеристик диэлектрика, определяются областью его применения. Однако в большинстве случаев особое внимание уделяется диэлектрическим характеристикам, поскольку основное назначение диэлектрика — изолировать как можно лучше токоведущие части.

Рассмотрим характеристики электроизоляционных материалов в конкретных условиях, в том числе в специфических условиях сельскохозяйственного производства.

§ 3. Явления в электроизоляционных материалах при воздействии электрического поля. Поляризация диэлектриков

В рабочем режиме электрооборудования электроизоляционные конструкции являются средой электрического поля. В простейшем виде диэлектрик между двумя токоведущими деталями представляет собой конденсатор.

Под воздействием электрического поля диэлектрик поляризуется — происходит смещение электрических зарядов в атомах, ионах и молекулах. Это смещение зарядов и, следовательно, появление соответствующего тока возникает в направлении поля и следует за каждым изменением приложенного напряжения. По природе электрических зарядов и структур молекул различают три основных вида поляризации: электронную, ионную и дипольную.

Электронная поляризация обусловлена смещением электронов, упруго связанных в атомах или ионах, в направлении, обратном направлению электрического поля. Электронная поляризация наблюдается у всех видов диэлектриков независимо от их физического состояния и структуры и происходит почти мгновенно в течение 10^{-15} ... 10^{-13} с. Эта поляризация, являясь вполне упругой, не сопровождается потерей энергии.

Ионная поляризация характерна для твердых тел с ионным строением и обуславливается смещением упруго связанных ионов. Величина поляризуемой частицы с повышением температуры возрастает в результате расширения тела, увеличения расстояния между частицами и ослабления упругих сил, действующих между ионами. Время установления ионной поляризации не превышает 10^{-13} с. В большинстве случаев ионная поляризация сопровождается весьма малым рассеянием энергии.

Дипольная поляризация отличается от электронной и ионной тем, что она связана с тепловым движением частиц. Во многих диэлектриках в различном агрегатном состоянии — и в газообразном, и в жидком, и в твердом — молекулы, если они имеют несимметричную структуру, обладают электрическим дипольным моментом при отсутствии внешнего электрического поля. У таких молекул центры положительных и отрицательных зарядов смещены друг относительно друга на некоторое расстояние. Дипольные, или, как их еще называют, полярные, молекулы поляризованы самопроизвольно, спонтанно, без воздействия электрического поля. Дипольные молекулы, находящиеся в хаотическом тепловом движении, частично ориентируются под воздействием поля, что и является причиной поляризации.

Дипольная поляризация возможна, если молекулярные силы не мешают диполям ориентироваться вдоль поля.

С увеличением температуры молекулярные силы ослабляются, что должно усиливать дипольную поляризацию, однако в это же время возрастает энергия теплового движения молекул, что уменьшает ориентирующее влияние поля. В связи с этим степень дипольной поляризации с увеличением температуры сначала возрастает, пока ослабление молекулярных сил сказывается сильнее, чем возрастание хаотического теплового движения. Затем, когда хаотическое движение становится интенсивнее, степень дипольной поляризации с ростом температуры начинает уменьшаться.

Поворот диполей в направлении поля требует определенного времени даже при газообразном состоянии вещества. В вязких жидкостях и твердых телах сопротивление поворотам молекул настолько велико, что при быстро переменных полях диполи не успевают ориентироваться и дипольная поляризация уменьшается с увеличением частоты приложенного напряжения. Кроме того, время дипольной поляризации определяется размером молекулы, оно тем больше, чем крупнее молекула.

Дипольная поляризация сопровождается рассеиванием энергии. В диэлектрике, находящемся в переменном электрическом поле промышленной частоты, электронная и ионная поляризация за полупериод тока успевают устанавливаться, а дипольная поляризация может не установиться. Для того чтобы она установилась, необходимо, чтобы время полупериода переменного тока было больше времени, за которое происходит поворот дипольных молекул. Таким образом, от частоты переменного тока и температуры

диэлектрика зависит только дипольная поляризация. Выше были рассмотрены три основных вида поляризации, характерных для диэлектриков простой структуры. В веществах более сложного строения обнаруживается еще один вид поляризации — **структурная**. Структурная поляризация наблюдается только в твердых дипольных телах (аморфных и кристаллических) и в ионных веществах с аморфной структурой (неорганические стекла). Теория структурной поляризации основывается на неоднородном строении частиц и подчиняется тем же законам, что и теория дипольной поляризации.

Близка по существу протекающих явлений к структурной поляризации ионно-релаксационная поляризация. Она заключается в образовании пространственных поляризационных зарядов внутри диэлектрика за счет переброса электрическим полем неупруго связанных ионов, имеющих с соседними частицами данного тела ослабленные связи. В кристаллических телах эти явления могут происходить за счет различных примесей или нарушений закономерностей роста кристалла при его образовании. Под действием поля образуются пространственные заряды: положительные в зоне отрицательного заряда, отрицательные в зоне положительного. Изменение зарядов во времени обуславливает появление добавочного тока ионно-релаксационной поляризации. Неупругий характер перемещения ионов при ионно-релаксационной поляризации связан с необратимым поглощением энергии вследствие образования добавочных зарядов за счет переброса ионов, частиц со сравнительно большой массой, на довольно большие расстояния. Время установления ионно-релаксационной поляризации больше времени установления поляризации ионного смещения и различно для разных диэлектриков.

Ионно-релаксационная поляризация так же, как и ионная, зависит от температуры. Добавочная поляризация может наблюдаться в сложных диэлектриках. Например, в слоистой изоляции происходит **междуслойная поляризация**, которая проявляется в случае, если диэлектрики слоев имеют различные значения электрических характеристик.

Помимо названных выше, у сегнетодиэлектриков наблюдается **спонтанная (самопроизвольная) поляризация**. В отличие от поляризованных диэлектриков, у которых самопроизвольно поляризованы молекулы, сегнетодиэлектрики имеют самопроизвольно поляризованные области (домены), элементарные ячейки кристаллической решетки. Под влиянием приложенного напряжения происходит однообразная ориентация дипольных моментов доменов (целых областей) — спонтанная поляризация, которая приводит к созданию очень большого суммарного электрического момента и большому поляризационному заряду, а следовательно, большому емкостному току. Сегнетодиэлектрическими свойствами обладают некоторые неорганические кристаллы. Подробные характеристики некоторых сегнетодиэлектриков будут рассмотрены ниже.

При длительном воздействии сильного постоянного поля при соответствующих условиях у органических воскообразных сильно полярных диэлектриков, а также неполярных органических и даже неорганических, в частности керамических, диэлектриков происходит **электретная поляризация**. Диэлектрик приобретает электретное состояние — переходит в электрет, который способен очень длительно сохранять поляризованное состояние, иногда в течение нескольких лет, создавая в окружающем его пространстве электрическое поле.

Всякая поляризация, связанная с образованием зарядов, создает некоторую противо-э. д. с. поляризации. В большинстве случаев эта противо-э. д. с. поляризации невелика. Однако в ряде случаев происходит образование сильно сосредоточенных пространственных зарядов, вызывающих появление весьма больших разностей поляризационных потенциалов, направленных противоположно потенциалам, приложенным к электродам. Эта разновидность поляризации получила название высоковольтной. Она была достаточно подробно изучена А. Ф. Иоффе, который показал, что высоковольтная поляризация устанавливается довольно медленно, иногда часами, что она практически не наблюдается при частотах, выше звуковых, и при достаточно высоких температурах.

Поляризационные явления, происходящие в диэлектриках под воздействием электрического поля, оцениваются диэлектрическими характеристиками материалов, к которым относятся: а) диэлектрическая проницаемость; б) сопротивление изоляции; в) диэлектрические потери; г) электрическая прочность.

§ 4. Диэлектрическая проницаемость

Она характеризует количественно процесс поляризации. Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ выражается отношением емкостей двух конденсаторов равных размеров:

$$\epsilon = \frac{C}{C_0},$$

где C — емкость конденсатора, диэлектриком которого является изоляция с некоторой диэлектрической проницаемостью; C_0 — емкость конденсатора, у которого в качестве диэлектрика использован вакуум.

Поляризация газообразных веществ вследствие больших расстояний между молекулами незначительна, и диэлектрическая проницаемость близка к единице. Диэлектрическая проницаемость газа пропорциональна давлению и обратно пропорциональна абсолютной температуре, так как она определяется изменением числа молекул в единице объема. Однако эта зависимость слабо выражена.

Жидкие диэлектрики могут быть построены из нейтральных (неполярных) молекул, обладающих только электронной поляризацией, а также из дипольных (полярных) молекул, поляризация ко-

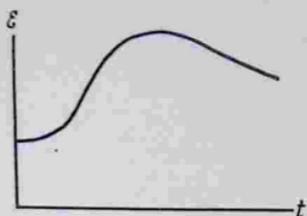


Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры.

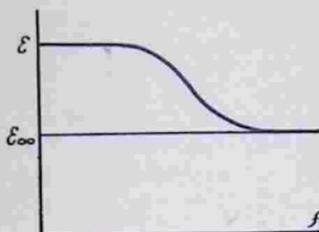


Рис. 2. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты.

торых определяется одновременно электронной и дипольной составляющими. Жидкости обладают тем большей диэлектрической проницаемостью, чем больше значение электрического момента диполей и чем больше число молекул в единице объема. Диэлектрическая проницаемость нейтральных жидкостей обычно не превышает 2,5. Сильнополярные жидкости, характеризующиеся очень высоким значением диэлектрической проницаемости, например вода, этиловый спирт, не находят практического применения в качестве диэлектрика вследствие их высокой электропроводности. Диэлектрическая проницаемость нейтральной жидкости обратно пропорциональна температуре, так как с ростом последней уменьшается число молекул в единице объема.

Зависимость диэлектрической проницаемости дипольных жидкостей от температуры носит более сложный характер.

При низких температурах диэлектрическая проницаемость носит только электронный характер, диполи еще не могут повертываться. С повышением температуры вязкость жидкости уменьшается и диполи начинают ориентироваться в электрическом поле, что ведет к резкому увеличению диэлектрической проницаемости. При дальнейшем увеличении температуры возросшая кинетическая энергия хаотического движения диполей мешает их ориентации, и поэтому диэлектрическая проницаемость начинает постепенно уменьшаться (рис. 1).

Диэлектрическая проницаемость дипольной жидкости зависит от частоты тока. При малых частотах диполи успевают следовать за изменением поля и значение диэлектрической проницаемости при этом близко к значению проницаемости, определяемому при постоянном токе. При увеличении частоты молекулы не успевают следовать за изменением поля, и диэлектрическая проницаемость начинает уменьшаться. При большой частоте ее значение приближается к значению, обусловленному только электронной поляризацией (рис. 2).

Диэлектрическая проницаемость полярных жидкостей повышена по сравнению с нейтральными жидкостями. Например, для совола ее значение равно 3,2, для касторового масла — 4,5.

Диэлектрическая проницаемость твердых тел может принимать самые различные значения в соответствии с разнообразием структурных особенностей твердых диэлектриков. Наименьшее значение диэлектрической проницаемости имеют твердые диэлектрики, построенные из нейтральных молекул и обладающие только электронной поляризацией. К такому виду относится парафин, имеющий диэлектрическую проницаемость 1,9...2,2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости нейтральных твердых диэлектриков подобна зависимости нейтральных жидкостей. В твердых диэлектриках, представляющих собой ионные кристаллы с плотной упаковкой частиц и обладающих электронной и ионной поляризациями, значение диэлектрической проницаемости меняется в очень широких пределах. С увеличением температуры таких диэлектриков их диэлектрическая проницаемость возрастает почти линейно за счет возрастания поляризуемости ионов, несмотря на уменьшение плотности вещества.

Твердые дипольные диэлектрики аморфной и кристаллической структуры и ионные аморфные диэлектрики, в том числе полярные полимеры (бакелит, шеллак, плексиглас, эбонит, поливинилхлорид и др.), целлюлоза и продукты ее переработки (галовакс, неорганические стекла), характеризуются наличием электронной, ионной и структурной поляризации и делятся на две подгруппы: 1) ионные аморфные диэлектрики (неорганические стекла), структурная поляризация которых состоит в перебросе тепловым движением внутри замкнутой ячейки ионов, направляемых электрическим полем; диэлектрическая проницаемость стекол находится в пределах от 4 до 20; 2) дипольные аморфные и кристаллические твердые тела, в которых в твердом состоянии обнаруживается дипольная поляризация, аналогичная поляризации дипольных жидкостей, но с совершенно иными значениями времени релаксации. Диэлектрическая проницаемость материалов второй подгруппы в большей степени зависит от температуры и от частоты приложенного напряжения, подчиняясь тем же закономерностям, какие наблюдаются у дипольных диэлектриков.

От значения диэлектрической проницаемости зависит емкость материала. Поэтому, например, сверхвысокая диэлектрическая проницаемость керамического сегнетодиэлектрика используется в малогабаритных конденсаторах. Интересно отметить, что диэлектрическая проницаемость сегнетодиэлектриков имеет резко выраженную зависимость не только от температуры, но и от напряженности поля, при этом отмечено явление диэлектрического гистерезиса сегнетодиэлектриков.

§ 5. Сопротивление изоляции

В природе нет такого вещества, которое не проводило бы электрический ток в той или иной мере. Электропроводность материала зависит от его агрегатного состояния.

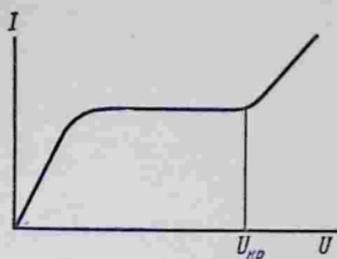


Рис. 3. Зависимость тока утечки в газах от напряжения.

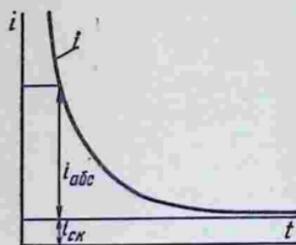


Рис. 4. Изменение тока в диэлектрике в зависимости от времени приложения постоянного напряжения.

Электропроводность газов объясняется кинетической теорией газов, по которой все свободные электроны и ионы находятся в непрерывном движении вследствие хаотического характера теплового движения. При этом отсутствует направленный перенос электрических зарядов и эффект тока.

Приложенное напряжение создает направленное движение свободных зарядов — электрический ток, ток утечки. Таким образом, электропроводность газов носит смешанный характер — электронный и ионный. В слабых электрических полях ток утечки очень мал и пропорционален напряженности, число направленных зарядов (с учетом рекомбинации) растет с увеличением приложенного напряжения.

При соответствующем напряжении рекомбинация зарядов прекращается и все образовавшиеся заряды достигают своих электродов, наступает насыщение — ток перестает зависеть от напряжения (при данной интенсивности ионизации). Значительное увеличение приложенного напряжения до критического приводит к известному явлению ударной ионизации, появлению большого числа свободных электронов, что сопровождается резким увеличением тока утечки в газе (рис. 3). Для воздуха плотность тока насыщения составляет примерно 10^{-23} А/м², а напряжение ударной ионизации — 1000 кВ/м, таким образом, воздух — довольно хороший диэлектрик.

Электропроводность жидких диэлектриков тесно связана со строением молекул и в значительной степени зависит от примесей в диэлектрике (вода, кислоты и т. д.), особенно для неполярных жидкостей. Ток в жидкости обуславливается как передвижением ионов, так и перемещением относительно крупных заряженных коллоидных частиц. Очистка жидких диэлектриков (в том числе и электрическая) заметно уменьшает их электропроводность. Полярные жидкости имеют повышенную электропроводность по сравнению с неполярными, а сильнополярные рассматриваются даже как проводники с ионной проводимостью.

Ионный характер электропроводности жидкостей заключается в переносе электрическим полем ионов, образовавшихся вследствие частичной диссоциации основных молекул жидкости. Нейтральные молекулы подвержены диссоциации меньше, чем полярные. Поэтому диэлектрики с малой диэлектрической проницаемостью имеют меньшую, чем диэлектрики с большой диэлектрической проницаемостью, электропроводность. Например, удельная проводимость неполярного масла составляет примерно 10^{-8} Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$. Электропроводность любой жидкости значительно (почти экспоненциально) зависит от температуры, так как при этом уменьшается вязкость, может увеличиваться степень тепловой диссоциации и возрастает подвижность ионов.

Зависимость тока утечки от напряженности поля у чистых жидкостей такая же, как и у газов (рис. 3). Для жидкостей, имеющих примеси, отсутствует участок насыщения. При значительных напряженностях поля в недогазированных жидкостях увеличение тока происходит за счет ударной ионизации газа, растворенного в жидкости.

Электропроводность твердых тел определяется передвижением ионов как самого диэлектрика, так и его примесей. Для твердых диэлектриков характерна зависимость протекающего через них тока утечки от времени приложения постоянного тока. Ток после включения диэлектрика под напряжение с течением времени в зависимости от свойств материала уменьшается и достигает установившегося значения (рис. 4). Часть тока, спадающего со временем (абсолютная разница между начальным и конечным током утечки), называют током абсорбции. Этот ток обусловлен различного вида поляризациями.

При поляризации происходит накопление зарядов в приэлектродном слое, что до известной степени аналогично зарядке конденсатора.

Установившееся значение тока через диэлектрик называется током сквозной проводимости; этот ток создается зарядами, которые движутся сквозь весь диэлектрик и ионизируются у электродов.

По току сквозной проводимости оценивается проводимость диэлектрика. Сопротивление диэлектрика $R_{ск}$ определяют по формуле

$$R_{ск} = \frac{U}{i - \Sigma i_n} = \frac{U}{i_{ск}},$$

где U — приложенное напряжение; i — наблюдаемый ток; $\Sigma i_n = i_{абс}$ — сумма токов, вызванных дипольной, структурной и межслоевой поляризациями; $i_{ск}$ — ток сквозной проводимости.

Токи электронной и ионной поляризации в связи с кратковременностью протекания не могут быть измерены обычными измерительными приборами и поэтому в формулу не входят.

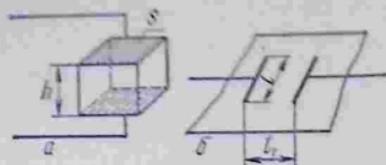


Рис. 5. Схемы измерения удельных сопротивлений изоляции: а — объемного; б — поверхностного.

Поскольку абсорбционные токи изменяются во времени, для удобства сравнения сопротивления диэлектрика рассчитывают как частное от деления напряжения на силу тока, измеренную через 60 с после включения напряжения. Полученное значение сопротивления всегда несколько ниже истинного значения.

Для сравнительной оценки различных материалов в отношении их электропроводности используют значения удельного сопротивления (удельное объемное ρ_v и удельное поверхностное ρ_s) и проводимости:

$$\gamma_v = \frac{1}{\rho_v} \text{ и } \gamma_s = \frac{1}{\rho_s}.$$

Удельное объемное сопротивление ρ_v (Ом·м) равно сопротивлению куба с ребром $1 \cdot 10^{-2}$ м, если ток проходит через две противоположные грани этого куба; в плоском образце материала при однородном поле удельное объемное сопротивление определяют из выражения

$$\rho_v = \frac{R_v S}{h},$$

где R_v — полное объемное сопротивление образца [4] (рис. 5, а); S — площадь электрода, см²; h — толщина диэлектрика, см.

Удельное поверхностное сопротивление ρ_s (Ом) равно сопротивлению квадрата при прохождении тока через две противоположные стороны этого квадрата (рис. 5, б).

Удельное поверхностное сопротивление определяют из выражения

$$\rho_s = \frac{R_s l_s}{l},$$

где R_s — полное поверхностное сопротивление образца изоляции между параллельно поставленными электродами длиной l_s , отстоящими друг от друга на расстоянии l (рис. 5, б).

В таблице 1 приведены для сравнения значения диэлектрической проницаемости и удельного объемного сопротивления некоторых материалов.

Материал	Удельное объемное сопротивление изоляции ρ_v при 20°C (293 К), Ом·м	Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ
Трансформаторное масло	$10^{12} \dots 10^{13}$	2,2
Совол	$10^{12} \dots 10^{13}$	4,6
Дистиллированная вода	$10^5 \dots 10^6$	82
Хлопчатобумажная лакоткань	$10^{12} \dots 10^{13}$	3,5...4
Изоляционный фарфор	$10^{11} \dots 10^{13}$	5,5...6
Стекло титановое	10^{13}	11
Слюда мусковит	$10^{15} \dots 10^{16}$	6...7

§ 6. Диэлектрические потери

Диэлектрическими потерями называют энергию, рассеиваемую в единицу времени в диэлектрике при воздействии на него электрического поля и вызывающую нагрев диэлектрика.

При постоянном напряжении потери энергии определяются только силой сквозного тока, обусловленного объемной и поверхностной проводимостями. При переменном напряжении к этим потерям добавляются потери, обусловленные различного вида поляризациями, а также наличием полупроводниковых примесей, окислов железа, углерода, газовых включений и т. п.

Рассматривая простейший диэлектрик, можно записать выражение рассеиваемой в нем под воздействием переменного напряжения мощности:

$$P_a = UI_a,$$

где U — приложенное к диэлектрику напряжение; I_a — активная составляющая тока, протекающего через диэлектрик.

Схему замещения диэлектрика обычно представляют в виде последовательно соединенных конденсатора и активного сопротивления. Из векторной диаграммы (рис. 6).

$$I_a = I_C \operatorname{tg} \delta,$$

где δ — угол между вектором полного тока I и его емкостной составляющей I_C . Следовательно,

$$P_a = UI_C \operatorname{tg} \delta,$$

но ток

$$I_C = U\omega C,$$

где C — емкость конденсатора (данного диэлектрика) при угловой частоте ω .

В результате

$$P_a = U^2\omega C \operatorname{tg} \delta,$$

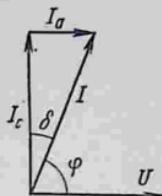


Рис. 6. Векторная диаграмма токов в диэлектрике, находящемся под напряжением переменного тока.

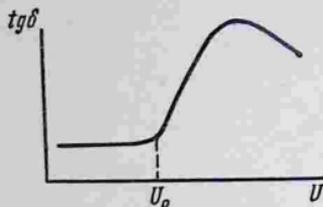


Рис. 7. Изменение $\operatorname{tg} \delta$ в зависимости от напряжения для изоляции с воздушными включениями.

то есть потери энергии, рассеиваемые в диэлектрике, пропорциональны тангенсу угла δ , который называется углом диэлектрических потерь или просто углом потерь. Этот угол δ и характеризует качество диэлектрика. Чем меньше угол δ , тем выше диэлектрические свойства изоляционного материала.

Введение понятия угла δ удобно для практики тем, что вместо абсолютного значения диэлектрических потерь рассматривается относительное значение, позволяющее сравнить между собой изоляционные изделия с различными по качеству диэлектриками.

Диэлектрические потери в газах малы. Газы имеют весьма малую электропроводность. Ориентация дипольных молекул газа при их поляризации не сопровождается диэлектрическими потерями.

Зависимость $\operatorname{tg} \delta = f(U)$ называют кривой ионизации (рис. 7). По возрастанию $\operatorname{tg} \delta$ с увеличением напряжения можно судить о наличии газовых включений в твердой изоляции. При значительных ионизации и потерях в газе может произойти разогрев и разрушение изоляции. Поэтому изоляцию обмоток высоковольтных электрических машин для удаления газовых включений при изготовлении подвергают специальной обработке — сушке под вакуумом, заполнению пор изоляции разогретым компаундом под давлением, обкатке и прессовке.

Ионизация воздушных включений сопровождается образованием озона и окислов азота, разрушительно действующих на органическую изоляцию. Ионизация воздуха в неравномерных полях, например в линиях электропередач, сопровождается видимым световым эффектом (короной) и значительными потерями, что снижает к. п. д. передачи.

Диэлектрические потери в жидкостях зависят от их состава. В нейтральных (неполярных) жидкостях без примесей электропроводность очень мала, поэтому в них малы и диэлектрические потери. Например, очищенное конденсаторное масло имеет $\operatorname{tg} \delta < 0,0002$.

В технике наибольшее распространение получили полярные жидкости (совол, касторовое масло и т. д.) или смеси нейтральных и дипольных жидкостей (трансформаторное масло, компаунды

и т. п.), у которых диэлектрические потери значительно больше, чем у нейтральных жидкостей. Например, $\text{tg}\delta$ касторового масла при частоте 10^6 Гц и температуре 20°C (293 K) равен 0,01. Диэлектрические потери полярных жидкостей зависят от вязкости. Эти потери называют дипольными, так как они обусловлены дипольной поляризацией.

При малой вязкости молекулы ориентируются под действием поля без трения, дипольные потери при этом малы, а общие диэлектрические потери обусловлены только электропроводностью. С увеличением вязкости дипольные потери возрастают. При некоторой вязкости наступает максимум потерь. Это объясняется тем, что при достаточно большой вязкости молекулы не успевают следовать за изменением поля и дипольная поляризация практически исчезает; диэлектрические потери при этом малы.

При повышении частоты максимум потерь смещается в область более высокой температуры. Так, уменьшение времени релаксации при повышенной частоте может быть достигнуто снижением вязкости путем повышения температуры. Зависимость потерь от температуры носит сложный характер: $\text{tg}\delta$ увеличивается с ростом температуры, достигает своего максимума, затем уменьшается до минимума, после чего снова возрастает, это объясняется ростом электропроводности.

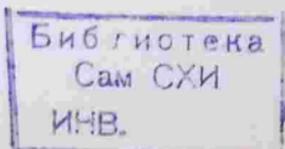
Дипольные потери возрастают с увеличением частоты до тех пор, пока поляризация успевает следовать за изменением поля, после чего дипольные молекулы уже не успевают полностью ориентироваться в направлении поля и потери становятся постоянными.

В маловязких жидкостях при низких частотах преобладают потери сквозной проводимости, а потери дипольные незначительны, при радиочастотах, наоборот, дипольные потери велики. Поэтому дипольные диэлектрики не используются в полях высокой частоты.

Диэлектрические потери в твердых диэлектриках зависят от структуры (кристаллической или аморфной), состава (органического или неорганического) и характера поляризации. В таких твердых нейтральных диэлектриках, как сера, парафин, полистирол, обладающих только *электронной поляризацией*, диэлектрические потери отсутствуют. Потери могут быть обусловлены только примесями. Поэтому такие материалы находят применение в качестве высокочастотных диэлектриков.

Неорганические материалы, такие, как монокристаллы каменной соли, сильвина, кварца, чистой слюды, обладающие *электронной и ионной поляризациями*, имеют малые диэлектрические потери, обусловленные только сквозной электропроводностью. Диэлектрические потери в этих кристаллах не зависят от частоты, а $\text{tg}\delta$ уменьшается с ростом частоты. С увеличением температуры потери и $\text{tg}\delta$ меняются так же, как и электропроводность, возрастая по закону экспоненциальной функции.

В аморфных неорганических материалах — стеклах наблюдаются *электронная, ионная и структурная* поляри-



зации. В технических стеклах наблюдаются потери, обусловленные структурной поляризацией, они мало зависят от температуры и пропорциональны частоте ($\text{tg}\delta$ от частоты не зависит). Чистое кварцевое стекло обладает ничтожно малыми структурными потерями, добавки в него окислов увеличивают потери, так как при этом нарушается внутренняя структура стекла.

В стеклах различного состава, например, керамике с большим содержанием стекловидной фазы, наблюдаются потери, обусловленные электропроводностью. Эти потери вызваны передвижением слабо связанных ионов, обычно они проявляются при температурах выше $50\text{--}100^\circ\text{C}$ ($323\text{--}373\text{ K}$). Эти потери заметно возрастают с температурой по закону экспоненциальной функции и мало зависят от частоты ($\text{tg}\delta$ уменьшается с ростом частоты).

В неорганических поликристаллических диэлектриках (мрамор, керамика и т. п.) возникают дополнительные диэлектрические потери, вызванные наличием полупроводящих примесей: влаги, окислов железа, углерода, газа и т. п. Потери в полукристаллических телах могут иметь различные значения даже для одного и того же материала, поскольку свойства материала меняются под воздействием условий окружающей среды.

Диэлектрические потери в органических полярных диэлектриках (древесина, эфиры целлюлозы, натуральный шелк, синтетические смолы, галовакс) обусловлены *структурной поляризацией* за счет неплотной упаковки частиц. Эти потери зависят от температуры, имея максимум при определенной температуре, а также от частоты, увеличиваясь с ее ростом. Поэтому упомянутые диэлектрики не применяют в полях высоких частот. Характерно, что зависимость $\text{tg}\delta$ от температуры для бумаги, пропитанной компаундом, имеет два максимума; первый наблюдается при отрицательных температурах и характеризует потери клетчатки, второй максимум при повышенной температуре обусловлен дипольными потерями компаунда. С увеличением температуры в полярных диэлектриках возрастают потери, связанные с электропроводностью.

Ниже приводятся значения $\text{tg}\sigma$ при частоте 10^6 Гц и температуре 20°C некоторых твердых диэлектриков:

Нейтральные диэлектрики (сера, парафин, полистирол) . . .	0,0001
Неорганические стекла:	
плавленый кварц	0,0002
силикатное щелочное стекло	0,01
Органические полярные диэлектрики:	
бумага	0,01
натуральный шелк	0,015

§ 7. Электрическая прочность

Электрическая прочность—одна из основных характеристик изоляции. При напряженности поля выше некоторого критического значения изоляция, находящаяся в электрическом поле, теряет

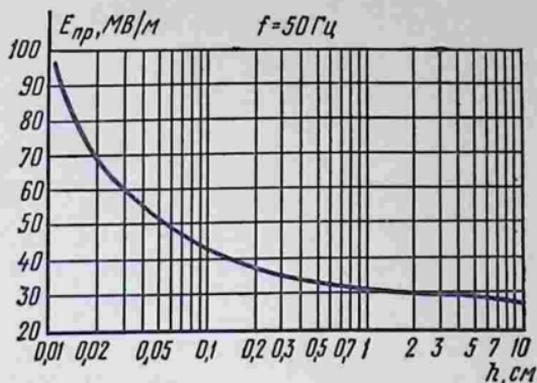


Рис. 8. Зависимость электрической прочности воздуха от расстояния между электродами в однородном поле.

свойства электроизоляционного материала — происходит пробой диэлектрика. Значение напряжения, при котором происходит пробой, называется пробивным напряжением, а соответствующая ему напряженность поля — пробивной напряженностью или электрической прочностью.

Электрическая прочность газов определяется явлением ударной ионизации. В однородном поле, которое наблюдается при наличии плоских электродов с закругленными краями, а также между сферами большого диаметра при малом расстоянии между ними, пробой наступает внезапно при достижении напряжения строго определенного значения, зависящего от температуры и давления газа. На этом принципе основан метод измерения высоких напряжений при помощи шаровых разрядников. При достаточной мощности

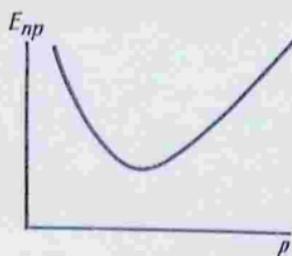


Рис. 9. Зависимость пробивной напряженности газа от давления.

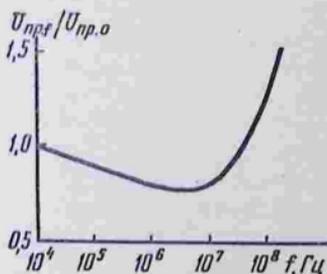


Рис. 10. Отношение пробивного напряжения воздуха при заданной частоте к пробивному напряжению при постоянном токе в зависимости от частоты.

источника тока между электродами возникает искра, переходящая в дугу.

Электрическая прочность газа зависит от расстояния между электродами, это явление объясняется условиями формирования разряда (рис. 8). При нормальных условиях [давление 0,1 МПа, температура 20°C (293 K)] и расстоянии между электродами 1 см электрическая прочность воздуха (амплитудное значение при переменном напряжении частотой 50 Гц) составляет 3,2 МВ/м.

Электрическая прочность газа зависит от его давления, что объясняется изменением длины свободного пробега электронов и изменением числа молекул газа в единице объема (рис. 9). Высокую электрическую прочность вакуума (до 10^3 кВ/см) используют при конструировании вакуумных конденсаторов высокого напряжения. Газы под высоким давлением используются в качестве изоляции высоковольтной аппаратуры, кабелей и конденсаторов.

Электрическая прочность газов зависит также от частоты тока. С увеличением частоты электрическая прочность газа несколько уменьшается за счет искажения поля вследствие образования объемных зарядов из-за различной подвижности положительных и отрицательных ионов и достигает минимума при частоте около $5 \cdot 10^6$ Гц. Затем электрическая прочность возрастает, так как из-за малой продолжительности полупериода изменения напряжения затрудняется процесс ударной ионизации (рис. 10).

На электрическую прочность газа влияет его состав. Так, электрическая прочность водорода составляет 0,6 прочности воздуха, углекислого газа — 0,9, азота — 1,0, гексафторида серы (элегаза) — 2,5 и фреона — 2,6. Поэтому элегаз находит применение в высокочастотных выключателях.

В неоднородном поле, например в поле между проводами линий электропередач, пробоем газа предшествует возникновение короны (ионизация газа при напряженности выше критической). При увеличении напряжения корона переходит в искровой разряд, а затем в дугу.

Пробой газа при высоких частотах в неоднородном поле (в отличие от пробоев в однородном поле) происходит при более низких напряжениях, чем при постоянном токе или токе промышленной частоты.

Электрическая прочность жидких диэлектриков в чистом виде значительно выше электрической прочности газов.

Применяемые в технике жидкие диэлектрики, как правило, засорены примесями — влагой, газом, механическими частицами. Для объяснения механизма пробоя жидких диэлектриков применяется теория ионизационного пробоя. При этом повышение электрической прочности жидкостей относительно газов объясняется резко уменьшенным значением длины свободного пробега электронов.

Тепловая теория академика Н. Н. Семенова связывает пробой технических и жидких диэлектриков с частичным перегре-

вом и вскипанием ее в местах примесей, что приводит к образованию газового мостика между электродами.

По теории чисто электрического пробоя в жидких диэлектриках происходит вырывание электронов из металлических электродов или разрушение самих молекул жидкости. Примеси резко снижают электрическую прочность жидкостей, что хорошо иллюстрируется кривой, приведенной на рисунке 11, где показана зависимость пробивного напряжения трансформаторного масла от содержания воды. Например, неочищенное трансформаторное масло имеет электрическую прочность около 4000 кВ/м, а очищенное — до 20 000 кВ/м.

У загрязненных жидких диэлектриков импульсная прочность в 5...7 раз выше электрической прочности при длительном воздействии напряжения, а у очищенных — не превышает трех раз. Влияние температуры на электрическую прочность очищенной жидкой изоляции незначительно: прочность несколько снижается с ростом температуры; а для загрязненной изоляции эта зависимость довольно сложна и имеет максимальное и минимальное значения.

При повышенных частотах жидкие диэлектрики разогреваются энергией диэлектрических потерь, поэтому рабочие напряженности поля для таких диэлектриков занижаются.

Электрическая прочность твердых диэлектриков. Многообразие явлений при пробое твердых диэлектриков до сих пор не нашло точного теоретического объяснения. Пробой может быть электрическим и тепловым.

Относительно правильный порядок значений пробивных напряжений дает квантовая теория, но и она не объясняет все явления, происходящие при пробое.

Результаты испытаний по электрическому пробоему твердых тел показывают, что на значение пробивного напряжения влияют в основном характер микроструктуры диэлектрика, форма электрического поля и вид напряжения.

В твердых диэлектриках однородное поле может быть получено в очень редких случаях. Поле определяется формой электродов и конфигурацией изоляционных конструкций и искажается за счет посторонних включений. В однородном поле электрическая прочность диэлектрика максимальна и не зависит от его толщины. В неоднородном поле электрическая прочность диэлектрика изменяется с увеличением его толщины (рис. 12). При электрическом пробое пробивное напряжение диэлектрика не зависит от темпера-

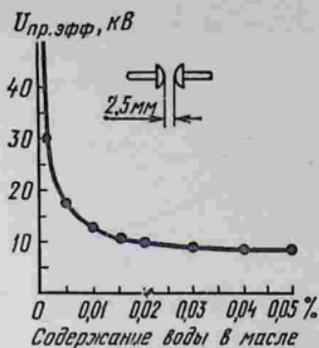


Рис. 11. Зависимость электрической прочности от содержания воды в масле в стандартном разряднике ($h=2,5$ мм).

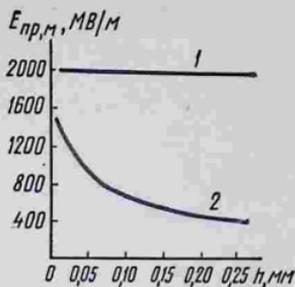


Рис. 12. Зависимость пробивной напряженности от толщины для стекла:
1 — однородное поле, 2 — неоднородное поле.

туры (до определенного значения последней) и длительности воздействия напряжения.

При неоднородной структуре диэлектрика пробивные напряжения в однородном и неоднородном полях мало отличаются друг от друга; при однородной же структуре диэлектрика они заметно различны. Электрическая прочность твердых технических диэлектриков зависит от их однородности и главным образом от содержания в них газовых включений.

Пористые диэлектрики, такие, как мрамор, непропитанная неплотная бумага, дерево, пористая керамика, обладают низкой электрической прочностью. Диэлектрики плотной структуры, такие, как слюда, пропитанная бумага, стекло, имеют повышенную электрическую прочность.

Явление теплового пробоя сводится к разогреву материала в электрическом поле до температуры, при которой материал разрушается (плавится, растрескивается, обугливается) с чрезмерным возрастанием тока сквозной проводимости или диэлектрических потерь.

Значение пробивного напряжения при тепловом пробое характеризует электроизоляционное изделие, а не диэлектрик, из которого оно изготовлено. Это напряжение зависит от нагревостойкости материала, частоты тока, условий охлаждения, температуры охлаждающей среды и др.

Для большинства органических диэлектриков с температурой нагрева, близкой к 100°C (373 К), выполняют только расчет температуры нагрева и не ведут расчет на пробивное напряжение,

§ 8. Механические и физико-химические свойства диэлектриков

Изоляционные материалы характеризуются следующими механическими характеристиками: прочностью на разрыв, сжатием и изгибом, хрупкостью и твердостью, удельной ударной вязкостью и эластичностью. Поскольку упомянутые понятия известны из курса механики и сопротивления материалов, а также учитывая, что настоящее пособие предназначено для инженеров-электриков по эксплуатации электроустановок, а не для инженеров по электроизоляционным материалам, описание механических характеристик не приводится, кроме одной — хрупкости, которая характеризует специфические свойства изоляции.

Хрупкость. Некоторые материалы прочны при статических нагрузках, но легко разрушаются при внезапных динамических уси-

лиях. Например, этим свойством отличаются состарившиеся запеченные лаковые пленки изоляционных материалов. Хрупкость материала определяется испытанием на ударный изгиб (определяется ударная вязкость). Ударную вязкость $\sigma_{уд}$ (Дж/м²) определяют по формуле

$$\sigma_{уд} = \frac{A}{S},$$

где A — энергия, затраченная на излом образца, Дж; S — площадь поперечного сечения образца, м².

К физико-химическим характеристикам относятся кислотность, вязкость, температура вспышки, температура размягчения (аморфных диэлектриков), теплостойкость, холодостойкость, гигроскопичность, влагостойкость, химостойкость, короностойкость и дугоустойкость.

Кислотность — важная характеристика жидких диэлектриков. Наличие свободных кислот увеличивает проводимость диэлектрика и приводит к разрушению тех материалов, с которыми жидкий диэлектрик соприкасается. Чем ниже кислотное число диэлектрика, тем выше качество изоляции. Поэтому кислотное число трансформаторного масла должно быть не более 0,05 г/кг и у большинства изоляционных лаков 1...3 г/кг.

В технике применяется ряд мер, исключаящих или замедляющих окисление жидких диэлектриков в процессе эксплуатации: герметизация жидкого диэлектрика, его очистка, применение специальных добавок и т.п. Подробно эти меры рассмотрены в главе «Эксплуатация трансформаторного масла».

Кинематическая вязкость характерна для жидких изоляционных материалов. Жидкие диэлектрики в электроустановках используются в качестве изоляционного материала, охлаждающей среды и дугогасящей среды. Назначение жидкого диэлектрика определяется его вязкостью. Так, трансформаторное масло служит и диэлектриком, и охлаждающей средой. Чем меньше вязкость масла, тем лучше охлаждение трансформатора, но при этом уменьшается температура вспышки масла, что нежелательно и ограничивается требованиями ПУЭ. В масляных выключателях масло применяется в качестве дугогасящей среды. При низких температурах вязкость масла может оказаться настолько большой, что значительно увеличит время срабатывания выключателя, а это, в свою очередь, приведет к аварии. Поскольку вязкость жидкостей значительно зависит от температуры, правила технической эксплуатации регламентируют значение вязкости жидкого диэлектрика при определенной температуре. Так, кинематическая вязкость трансформаторного масла должна быть равна $(17...18,5) \cdot 10^{-6}$ м²/с при 20°C (293 К) и $(6,5...6,7) \cdot 10^{-6}$ м²/с при 50°C (323 К).

Температура вспышки — это температура диэлектрика, при которой смесь его паров с воздухом вспыхивает от небольшого пламени. Чем выше температура вспышки, тем лучше жидкий ди-

электрик. Для трансформаторного масла температура вспышки нормирована и должна быть не ниже 135°C (408 К).

Температура размягчения характеризует переход аморфной изоляции при ее нагреве в жидкое состояние, а **температура застывания** (морозостойкость) характеризует загустение жидкой изоляции настолько, что при наклоне пробирки с охлажденной жидкостью под углом 45° ее уровень остается неизменным в течение 1 мин. Например, для трансформаторного масла, согласно ГОСТ, температура застывания должна быть не выше —45°C (228 К) для средних и северных широт страны и —35°C (238 К) для южных.

Нагревостойкость — способность материалов и изделий без вреда для них выдерживать воздействие высокой температуры. Нагревостойкость органических материалов часто определяют по началу механической деформации растяжения или изгиба, а неорганических, как правило, по началу существенного изменения электрических свойств, например по заметному росту $\tan \delta$ или снижению удельного электрического сопротивления. Нагревостойкость оценивают соответствующими значениями температуры (°C), при которой появляются эти изменения.

Остальные показатели, как видно из их названий, характеризуют радиационную стойкость, стойкость изоляционных материалов к нагреву или охлаждению (тепlostойкость), воздействию влаги или воды (гигроскопичность и водопоглощаемость), а также химических реагентов (химстойкость), озона (короностойкость), электрической дуги (дугостойкость).

В результате тех или иных воздействий в электроизоляционных материалах, особенно органического происхождения, происходят необратимые физико-химические процессы. Эти материалы теряют эластичность, становятся хрупкими, снижается их механическая прочность, ухудшаются диэлектрические характеристики. Определение каждого физико-химического параметра имеет свои особенности. Например, гигроскопичность определяется как относительный прирост веса абсолютно сухого образца материала после выдержки его во влажной среде (гигростате), а водопоглощаемость — соответственно в воде в течение заданного промежутка времени (24,48 и более часов).

В последнее время особое внимание уделяется радиационной стойкости изоляционных материалов, при этом облучение материала в зависимости от его вида, дозы и времени может оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на них.

§ 9. Классификация электроизоляционных материалов по нагревостойкости

В соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии (МЭК) ГОСТ 8865—70 предусматривает разделение электроизоляционных материалов на классы нагревостойкос-

ти, для которых фиксируются наибольшие допустимые температуры при использовании этих материалов в электрооборудовании общего применения, длительно работающем в нормальных для него эксплуатационных условиях:

Классы нагревостойкости . . .	У	А	Е	В	Ф	Н	С
Наибольшая допустимая рабочая температура, °С	90	105	120	130	155	180	Свыше 180

При этих температурах обеспечиваются технико-экономические целесообразные сроки службы электрооборудования.

К классу У относятся волокнистые материалы на основе целлюлозы и шелка, если они не пропитаны и не погружены в жидкий электронизоляционный материал.

К классу А относятся те же волокнистые диэлектрики, пропитанные или погруженные в жидкий диэлектрик, а также ацетобутилатцеллюлозные и полиамидные пленки и смолы, слонистые древесные пластики, изоляция эмаль-проводов на масляно-смоляных и поливинилацеталевых лаках и т. п.

К классу Е относятся пластмассы с органическим наполнением и терморезистивным связующим типа фенолформальдегидных и им подобных смол (гетинакс, текстолит), полиэтилентерефталатные пленки, компаунды на основе эпоксидных, полиуретановых и полиэфирных смол, изоляция эмаль-проводов на основе поливинилацеталей, полиуретанов и эпоксидных смол.

К классу В относятся материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с органическими подложками, связующими и пропитывающими составами (битумно-масляные глифталевые модифицированные лаки, лаки на основе полиэфирных, алкиднофенольных, эпоксидных и полиуретановых смол, битумные компаунды с температурой размягчения не ниже 115°C (388К) — для неподвижных катушек).

К классу Ф относятся материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами (лаки, компаунды на основе трехмерных полиэфирных, эпоксидных и полиуретановых смол, модифицированных кремнийорганическими соединениями).

К классу Н относятся материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими составами, кремнийорганические эластомеры.

К классу С относятся слюда, кремнийорганические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими, или с элементоорганическими связующими составами, а также газообразные диэлектрики.

Из опыта длительной эксплуатации электрических машин с классом нагревостойкости А и В установлено, что срок службы их изоляции может достигать 15...20 лет. Однако в реальных условиях таким является срок жизни электрических машин (период от выхо-

да ее с завода-изготовителя до списания), а не срок их службы; срок службы изоляции и, следовательно, машин всегда много меньше и составляет, например, в машиностроении 6...8 лет, а в сельскохозяйственном производстве 2...3 года. Подробнее этот вопрос рассмотрен ниже.

При превышении температуры обмоток выше допустимой для данного класса нагревостойкости, что обычно вызывается технологическими перегрузками рабочих машин или колебаниями напряжения в питающей сети (и как следствие — увеличение тока в обмотке статора), срок службы машины быстро уменьшается.

Для изоляции классов нагревостойкости А и В применяется так называемое десятиградусное правило: при превышении температуры примерно на каждые 10° (8° для особо тяжелых условий работы и для трансформаторов) срок службы изоляции машины уменьшается вдвое. Срок службы изоляции L определяют по следующему эмпирическому выражению:

$$L = Ae^{-at},$$

где A и a — коэффициенты, которые могут считаться постоянными для сравнительно узкого диапазона температур, в которых работает изоляция. Для целлюлозной изоляции трансформаторов, пропитанных маслом (класс А), a равна 0,0865. Постоянная A численно равна сроку службы изоляции при температуре 0°C ; t — температура нагрева изоляции.

Таким образом, в эксплуатации необходимо не допускать перегрузок машин.

§ 10. Газообразные диэлектрики

Газообразные диэлектрики подразделяются на естественные и искусственные.

Естественным газообразным диэлектриком является воздух, используемый в сухих трансформаторах, кабелях, конденсаторах, выключателях и линиях электропередач. Основные характеристики воздуха и их зависимости от температуры, давления и частоты рассмотрены выше.

Искусственные газообразные диэлектрики — это азот, элегаз, фреон и др. Азот практически имеет одинаковую с воздухом электрическую прочность, поэтому его нередко применяют вместо воздуха для заполнения газовых конденсаторов, поскольку он не содержит кислорода. Элегаз, фреон, негорюч, нагревостоек — до 800°C и другим материалам, не образует взрывчатых смесей с другими газами, используется в конденсаторостроении. Элегаз в неоднородном поле используется под небольшим давлением (до 17,5 кПа) смесь фторсодержащих газов. Для заполнения электровакуумных приборов используются инертные газы (аргон, неон и др.), а также пары ртути и натрия.

В качестве низкотемпературного хладагента, в частности для устройств, использующих явление сверхпроводимости, применяется сжиженный гелий.

В электромашиностроении в качестве охлаждающей среды вместо воздуха широко распространен водород, обладающий высокими значениями теплопроводности и теплоемкости. За счет меньшей плотности газа заметно уменьшаются потери ротора на трение о газ и на вентиляцию, за счет отсутствия кислорода замедляется старение органической изоляции обмоток и устраняется опасность возникновения пожара внутри машины при возникновении короткого замыкания.

§ 11. Жидкие диэлектрики

Жидкие диэлектрики используются в качестве пропитывающей среды для волокнистых материалов, составной части изоляционных лаков, охлаждающей и дугогасящей среды. Они подразделяются на естественные и искусственные.

Естественные жидкие диэлектрики. К ним относятся растительные и нефтяные масла. В свою очередь, растительные масла делятся на две условные группы: высыхающие и невысыхающие.

К высыхающим растительным маслам относятся жидкости растительного происхождения, способные под действием нагрева, освещения и других факторов, а также соприкосновения с воздухом переходить в твердое состояние. Слой масла, нанесенный на поверхность материала, высыхает и образует твердую, блестящую, прочную, пристающую к материалу пленку с относительно высокими электроизолирующими свойствами. Высыхание масла — сложный химический процесс взаимодействия масла с кислородом воздуха. Процесс высыхания масла может быть ускорен добавлением к маслу сиккативов — соединений металлов свинца, кальция, марганца и кобальта. Наиболее распространенные высыхающие масла — льняное и тунговое.

Льняное масло применяется для изготовления светлых лаков в качестве их основы (например, лак № 802) и светлых лакотканей. Пленки высыхающих масел довольно влагостойки даже при нагреве. Поэтому льняное масло может применяться для пропитки обмоток масляных трансформаторов, а желтая лакоткань — для изоляции их при изготовлении и ремонте.

Тунговое масло дает более прочную и влагостойкую пленку. В отличие от льняного масла, сохнущего с поверхности, тунговое масло даже в толстом слое высыхает равномерно.

Недостатками высыхающих масел, особенно тунгового, являются склонность пленок к тепловому старению (пленка становится хрупкой, на ней образуются трещины, она теряет механическую прочность и отстает от подложки), малая стойкость к ароматическим углеводородам (бензолу и т. д.).

К невысыхающим растительным маслам относится касторовое масло, которое применяется для пропитки бумажных конденсаторов, рассчитанных на работу при постоянном напряжении. В низковольтных конденсаторах применяется также гидрогенизированное касторовое масло — олеовакс, представляющий собой твердое вещество с диэлектрической проницаемостью порядка 10...20 при 20°C (293 К) и частоте 50 Гц. Касторовое масло имеет недостаточную термическую стабильность и склонность к загустеванию. В результате специальной обработки касторовое масло превращается в высыхающее и применяется при изготовлении лаков.

Нефтяные масла широко применяются в электроаппаратостроении, в эксплуатации и при ремонте. Нефтяные масла по применению подразделяются на трансформаторные, кабельные, конденсаторные. Последние два отличаются более глубокой очисткой и улучшенными характеристиками.

Трансформаторное масло получают из нефти. В результате перегонки нефти получают бензин, керосин и остаток — мазут. Перегонкой мазута получают масляные фракции. Полученное масло очищают от химически нестойких примесей при помощи серной кислоты, нейтрализуют щелочью, промывают водой, фильтруют и сушат. Окончательно масло очищают при помощи пористых веществ с сильно развитой внутренней поверхностью — адсорбентов (до 1000 м² на 1 г), способных поглощать содержащиеся в масле полярные примеси.

Трансформаторное масло подразделяют на чистое сухое (свежее) и эксплуатационное, то есть находящееся в работе в трансформаторе или другом аппарате.

Ряд параметров трансформаторного масла (кислотность, вязкость, температура вспышки и застывания) рассмотрен в разделе физико-химических свойств диэлектриков.

Кратко рассмотрим другие его свойства.

Плотность. Желательно иметь меньшую плотность (0,85... 0,9 мг/м³), если это не ведет к ухудшению других характеристик, например температуры вспышки масла. При меньшей плотности примеси масла — уголь, осадки, свободная вода и другие — быстрее опускаются на дно, выходя из зоны действия электрического поля. При большей плотности примеси, всплывая наверх, могут образовывать проводящие мостики.

Содержание серы. Присутствие серы в масле недопустимо, так как она способствует образованию вредных мыл, кислой реакции масла и коррозии металлов.

Внешний вид масла. Свежее масло имеет светло-желтый цвет. В эксплуатации под влиянием загрязнений и окисления оно темнеет. Сильное потемнение масла указывает на его недоброкачественность. Масло должно оставаться прозрачным при охлаждении до 5°C (278 К), по прозрачности можно судить о загрязненности масла. Хорошее масло должно иметь слабый запах керосина.

Диэлектрические характеристики. В энергосистемах контроль за качеством масла в эксплуатации осуществляют по значению тангенса угла диэлектрических потерь и пробивному напряжению.

В эксплуатации приняты следующие значения $\operatorname{tg}\delta$ (%) для масел при $t=20^\circ\text{C}$: новое масло (не бывшее в работе) не более 0,2; после заливки не более 0,4; эксплуатационное масло не более 1. Нормированная электрическая прочность масла зависит от класса изоляции электрооборудования. Минимальное пробивное напряжение эксплуатационного масла для трансформаторов, аппаратов и изоляторов с напряжением до 15 кВ включительно должно быть не менее 20 кВ, для установок напряжением выше 15 до 35 кВ — 25 кВ и для установок напряжением от 60 до 220 кВ — 35 кВ. Для свежего сухого масла пробивное напряжение должно быть на 10 кВ выше применительно к соответствующему классу изоляции.

Искусственные жидкие диэлектрики. Совол — негорючая прозрачная бесцветная вязкая полярная жидкость с диэлектрической проницаемостью, в 2...2,5 раза большей, чем у трансформаторного масла, и поэтому широко применяется для пропитки бумажных конденсаторов; емкость последних увеличивается на 50% по сравнению с масляными конденсаторами.

Совтол — смесь совола с трихлорбензолом — по вязкости, температуре замерзания и диэлектрическим свойствам близок к трансформаторному маслу, не воспламеняется, термически стабилен, допускает рабочую температуру до 150°C (423 К) и поэтому широко применяется в трансформаторах как заменитель изоляционного масла. Объем совтоловых трансформаторов на 30...50% меньше, чем масляных. Они пожаро- и взрывобезопаснее, не требуют специальных помещений и ограждений и устанавливаются прямо в производственных помещениях, что значительно сокращает стоимость трансформаторных пунктов. Совтоловые трансформаторы имеют специальную стеклянную и слюдяную изоляцию, так как совол хорошо растворяет органические материалы.

Кремнийорганические жидкости негорючи, нагревостойки, имеют низкую температуру замерзания -80°C (193 К); $\epsilon=2,5...3,5$; $\rho_V=10^{14}...10^{15}$ Ом·см; $\operatorname{tg}\delta$ при 50 Гц составляет 0,0002...0,0005; $E_{пр}=20...25$ МВ/м. В последнее время кремнийорганические жидкости нашли широкое применение, особенно для изготовления конденсаторов, работающих при высоких и низких температурах.

Фторорганические жидкости также нагревостойки (до 300°C или 573 К), полностью негорючи, химически стабильны, неигроскопичны, имеют малое поверхностное натяжение, $\epsilon=1,85...1,9$; $\rho=10^{14}...10^{17}$ Ом·см; $\operatorname{tg}\delta=0,0005$. Только при нагреве выше 500°C могут выделять токсичные вещества. При замене трансформаторного масла фторорганической жидкостью в качестве охлаждающей среды получается улучшение теплоотвода до 300%.

§ 12. Твердеющие изоляционные материалы

К твердеющим изоляционным материалам относятся рассмотренные выше высыхающие масла, компаунды, а также лаки, жидкие в исходном состоянии и переходящие в твердую прочную эластичную пленку после соответствующей сушки.

Основой лаков являются смолы. По своему происхождению смолы делятся на *естественные (природные)* и *искусственные (синтетические)*.

Синтетические смолы подразделяются на две группы: термопластичные и термореактивные. В исходном состоянии смолы хрупки в толстом слое, но относительно гибки в тонком слое, негигроскопичны, растворяются в растворителях, но не в воде.

Термопластичные смолы характеризуются двумя стадиями состояния — исходное и при нагреве. При нагреве они расплавляются, не изменяя химического состава, и легко растворяются в растворителях. Дальнейший нагрев приводит к их испарению и разрушению.

Синтетические термопластичные смолы — это полиолефины. Большинство термопластичных смол имеют в качестве основы этилен и его производные: полиэтилен, полипропилен, полиизобутилен, полистирол, поливинилхлорид, полиакрилаты. Основные характеристики смол приведены в таблице 2.

Термореактивные смолы при нагреве расплавляются, а затем претерпевают необратимые изменения — запекаются и приобретают значительную механическую прочность и твердость, теряя при этом свойства плавкости и растворимости даже в растворителях. В электрических машинах и аппаратах чаще применяются термореактивные материалы. Выбор же материала зависит от конкретных условий работы электрической машины.

Природные смолы — продукт жизнедеятельности растений и живых организмов. В электротехнике применяются канифоль, шеллак, копалы.

Канифоль — смесь различных органических кислот, получаемая путем отгонки жидких составных частей живицы (природной смолы хвойных деревьев). Ее широкое применение в пропиточных, заливочных и покровных составах замедляет старение состава (стабилизатор), повышает вязкость (загуститель кабельных масс) или твердость (лаковая пленка) и улучшает диэлектрические характеристики составов при нормальной температуре. В лаках канифоль служит также сиккативом — ускорителем сушки. Хорошо растворяет окись меди при повышенной температуре (150°C или 423 К). Канифоль сосновая марки А широко применяется при пайке меди в условиях эксплуатации и ремонта асинхронных электродвигателей, сварочных и синхронных генераторов, осветительных щитков и др.

Ранее применявшиеся природные смолы шеллак и копалы в настоящее время заменяются синтетическими.

Наименование смолы	Положительные качества	Недостатки	Применение
Термопластичные смолы			
Полиэтилен	Высокие диэлектрические свойства, почти не зависящие от частоты; химостоек	Недостаточная нагревостойкость (80...90°C или 353...363 К), склонность к тепловому старению	Изоляция высокочастотных кабелей и контуров
Полипропилен	То же	Нагревостойкость 105°C или 378 К	Пленочные и бумажно-пленочные силовые конденсаторы
Полиизобутилен	Холодостоек (до -80°C или 193 К), химостоек, очень малая влагопроницаемость	Текут в холодном состоянии	Изоляционные ленты, шланги кабелей, уплотнителей, изоляционных масс и т. д.
Полистирол	Высокие диэлектрические свойства	Хрупкость при пониженных температурах, низкая нагревостойкость (70...80°C или 343...345 К), недостаточна химостоек	Лаки, компаунды, пленки, изоляция конденсаторов
Поливинилхлорид	Химостоек, значительное удельное сопротивление при высокой влажности среды	Недостаточная эластичность и холодостойкость	Изоляция проводов, защитные оболочки кабелей и т. д.
Полиакрилаты (оргстекло и др.)	Хорошие холодо-, масло- и щелочестойкость, прочность, твердость, эластичность	Низкая нагревостойкость	Разрядники высокого напряжения, изоляция низкочастотных цепей слабого тока
Фторорганические полимеры (фторлон-4 или фторлон-3 и др.)	Высокие диэлектрические свойства, очень высокая нагревостойкость (до 250°C или 523 К), исключительная химическая стойкость, гибкость пленки сохраняется до -100°C или 173 К	Хладотекучесть, малая радиационная стойкость и коррозийная стойкость, дороговизна	Гибкие пленки, изоляция кабельных изделий

Наименование смолы	Положительные качества	Недостатки	Применение
Полиамиды (гетероцепные смолы)	Низкая гигроскопичность, высокая нагревостойкость (до 150°С или 423 К полунугетаны и 200...250°С или 473...523 К полиамиды)	Малая радиационная и светостойкость, некоторые материалы хладотекучи	Синтетические волокна (капрон, анид и др.), гибкие пленки, пластмассы, изоляция эмальпроводов (полиуретаны), лаки
Термореактивные смолы			
Фенолформальдегиды	Высокая механическая прочность, клейкость	Недостаточно высокие электроизоляционные свойства	Лаки, клеи, пластмассы
Полиэфир	Повышенная нагревостойкость	Недостаточно дугостойки	Лаки, пленки, связующие для изготовления слоистых пластиков, компаунды для изоляции электрооборудования
Эпоксиды	Высокая нагревостойкость, прекрасная адгезия к различным материалам	Токсичны	Клеи, лаки, заливочные компаунды; кабельные муфты

Изоляционные лаки применяются при изготовлении, эксплуатации и ремонте электрических машин и аппаратов. Они состоят из лакоосновы (пленкообразующих веществ), растворителя, сиккатива (вещества, ускоряющего процесс сушки — отвердевания) и пластификаторов, придающих пленке пластичность. К лакам предъявляется ряд подчас противоположных требований: иметь высокие диэлектрические характеристики в режимах эксплуатации и сушки; обладать хорошей пропитывающей способностью и малым временем сушки; не размягчаться в эксплуатации; быть эластичными и не ухудшать гибкость пропитанной изоляции; иметь хорошую теплопроводность, адгезионную сцепляемость и цементирующую способность и вязкость; обладать малой горючестью, не оказывать вредного влияния на активные металлы и изоляцию машины или аппарата; быть дешевыми и нетоксичными.

Лаки классифицируются по целому ряду признаков:

- 1) по составу — масляные, масляно-смоляные, масляно-битумные, масляно-глифталевые и т. п.;
- 2) по применению — клеящие, пропиточные, покровные и специальные (эмали);
- 3) по условиям эксплуатации — нормальные, маслостойкие, бензостойкие, влагостойкие, кислотостойкие;
- 4) по нагревостойкости — нормальной (105°C или 378 K), повышенной (135° или 408 K) и высокой (180°C или 453 K);
- 5) по воздействию на них температуры — термопластичные и терморезистивные;
- 6) по режиму сушки — холодной (воздушной) и горячей (печной) сушки.

В настоящее время для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов применяется черный масляно-битумный пропиточный лак горячей сушки БТ-980, в качестве покровного — БТ-99 и в качестве клеящего — БТ-95. Для пропитки обмоток маслозаполненных трансформаторов используется светлый масляно-глифталевый пропиточный лак ГФ-95 горячей сушки. Кроме того, для пропитки обмоток электрических машин применяется светлый фенольный пропиточный лак ФЛ-98 горячей сушки, а для пропитки обмоток электрических машин, работающих в условиях повышенной влажности и температуры, используется светлый кремнийорганический пропиточный лак КО-964 высокой нагревостойкости. Электрическая прочность лаковой пленки при нормальных условиях для различных лаков составляет 30...75 МВ/м.

В последние годы двигатели, поставляемые сельскому хозяйству, пропитывают химстойким глифталемасляным лаком МЛ-92, представляющим сложный раствор полиэфиров с различными добавками.

В качестве покровных лаков применяются глифталемасляные эмали ГФ-92, ГС, ГФ-95, эмали сложных составов типа ЭП-91 и др. Для пропитки нагревостойких машин применяются также кремнийорганические лаки.

До последних лет обмотки масляных трансформаторов пропитывали терморезистивными масляными или масляно-глифталевыми лаками горячей сушки повышенной нагревостойкости, имеющими высокую маслестойкость. В настоящее время почти все заводы электропромышленности не пропитывают обмотки трансформаторов лаками. Как показали исследования, характеристики изоляции трансформаторов при этом изменяются незначительно. Однако при отсутствии качественной пропитки заметно уменьшается динамическая прочность обмоток трансформатора, что представляет особую опасность для них при сквозных коротких замыканиях.

В качестве растворителей масляно-битумных и других лаков служат бензин, керосин, бензол, толуол и другие материалы, образующие с воздухом при определенных условиях пожаро- и взрывоопасные смеси. Поэтому операции пропитки и сушки не вписываются в технологический процесс изготовления или ремонта машин, сам процесс пропитки и сушки довольно сложен. Названные лаки стали заменять водоземulsionными, представляющими собой водную эмульсию той или иной смольной основы.

Водоземulsionные лаки нетоксичны, пожаробезопасны, могут быть приготовлены на месте использования, имеют незначительную стоимость, но не стабильны.

Операции пропитки и сушки могут быть включены в единый технологический поток изготовления или ремонта машины.

Сравнительные испытания изоляции, пропитанной масляно-битумными, масляно-смоляными и водоземulsionными лаками не выявили различий в их диэлектрических характеристиках. Процесс пропитки и сушки обмоток с использованием водоземulsionных лаков упрощается: отпадает необходимость первой сушки перед пропиткой обмоток машин и аппаратов (при пропитке водоземulsionным лаком происходит естественное увлажнение обмоток машин), пропитка осуществляется при естественном давлении, так как водоземulsionный лак хорошо проникает в мельчайшие поры изоляции.

Водоземulsionные лаки в отличие от масляных и масляно-смоляных, требующих ступенчатого режима сушки обмоток, допускают резкое повышение температуры нагрева при сушке; при этом не образуется пузырей, нарушающих монолитность лаковой пленки.

В последнее время разработаны и нашли применение в электропромышленности многочисленные лаки новых марок, обладающие улучшенными качествами. Это эскапоновые лаки — растворы каучука в органических растворителях, применяемые для пропитки обмоток влагостойкого и морского исполнения; полиэфирные и модифицированные лаки типа ПЭ, например ПЭ-955, применяемый для изготовления эмальпроводов марки ПЭТ-155 для электрических машин новейшей серии 4А, в том числе электродвигателей сельскохозяйственного исполнения, допускающий длительный нагрев до 155°C (428 К) и имеющий среднее пробивное напряжение лаковой пленки толщиной 0,06...0,07 мм, равное 7,5 кВ.

Лаки этого типа находят применение и для изготовления эмаль-проводов с рабочей температурой до 180°C (453 К) и пропитки обмоток электродвигателей с изоляцией класса нагревостойкости В и даже Н, а также для изготовления электронизоляционных трубок марки ТЭС класса нагревостойкости В. Электрическая прочность пленки таких лаков колеблется от 2,5 до 9 МВ/м.

Пропиточные кремнийорганические компаунды и составы служат для пропитки обмоток электрических машин различных классов нагревостойкости, в том числе электродвигателей новой серии 4А.

Компаунды — пропиточные и заливочные составы, не содержащие растворителя, находящиеся в момент применения при нормальной или повышенной температуре в жидком состоянии и твердеющие после применения в результате охлаждения или химических процессов. Вследствие отсутствия растворителей компаунды лучше лаков обеспечивают герметизацию узлов и деталей электрических машин и аппаратов.

По типу связующего компаунды делятся на ряд групп: компаунды на основе эпоксидных и полиэфирных смол, полиуретановые, битумные и др. В зависимости от состава они могут быть холодного и горячего отверждения.

Эпоксидные компаунды (марки Д, ЭЗК, ЭПК, ЭКА, ЭКС, ЭКД, ЭПСК, ЭМТ, ПК и др. с различными номерами и без номеров) применяются для пропитки обмоток трансформаторов, дросселей (и их заливки), электрических машин, изолирования и герметизации элементов радиоэлектроники и их пропитки, изготовления стеклослюдинитовых лент для изоляции турбо- и гидрогенераторов, для химостойких покрытий и т. п., в том числе напыления на обмотки и на металл, например, для получения пазовой изоляции.

Пленки эпоксидного компаунда обладают хорошей эластичностью, обеспечивают монолитность изделия, допускают работу при влажности среды $95 \pm 3\%$ и температуре от -60°C (213 К) до $80\text{--}180^\circ\text{C}$ (353...453 К) в зависимости от марки компаунда.

Полиэфирные компаунды применяются в основном для пропитки обмоток электрических машин и аппаратов, в том числе влагостойкого и тропического исполнения с рабочей температурой до 150°C (423 К), а также для пропитки и герметизации трансформаторов и различных деталей, работающих при температурах от -80°C (193 К) до 150°C (423 К) в зависимости от марки компаунда.

Полиуретановые компаунды применяются как электронизоляционный демпфирующий материал для заливки различных деталей и аппаратов, работающих при температурах от -60°C (213 К) до 80°C (353 К).

Полнорганосилоксановые компаунды применяются для пропитки обмоток электрооборудования, работающего при температурах 180°C (453 К) и даже несколько выше.

Битумные компаунды — наиболее старый класс диэлектриков. Они могут быть природными или продуктами переработки нефти. Битумные компаунды размягчаются при нагревании, затвердевают при охлаждении, обладают высокой влагостойкостью, хорошими электроизолирующими свойствами, поэтому применяются для пропитки и получения монолитной изоляции обмоток высоковольтных электрических машин и машин влагостойкого исполнения.

Заливочные компаунды, как правило, имеющие добавки в виде растительных или нефтяных масел, канифоли и т. д., применяются для обмазки лобовых частей электрических машин, пропитки асбоцементных плит, заливки мест соединения выводных концов обмоток электрических машин и заливки муфт силовых кабелей.

§ 13. Волокнистые электроизоляционные материалы

К волокнистым электроизоляционным материалам относятся дерево, бумага, картон, ткани, ленты из хлопчатобумажной пряжи или из искусственных шелков и капрона, фибра, стекло, асбест.

Рассмотрим кратко основные характеристики этих материалов. **Дерево твердых пород** — дуб, бук, ясень, клен, граб и береза — до последнего времени находило широкое применение в электромашиностроении при изготовлении ярмовых балок (консолей), клиньев и прокладок в масляных трансформаторах, пазовых клиньев и прокладок в электрических машинах, штамп в масляных выключателях и разъединителях, опор линий электропередач и т. д. Однако в последнее время дерево все больше вытесняется качественными изоляционными материалами на основе стекла, ткани, бумаги и т. п. Последнее объясняется тем, что механические и диэлектрические характеристики дерева невысоки, крайне различны и значительно зависят от направления среза.

Древесину после ее механической обработки пропитывают парафином, канифолью, олифой, льняным или трансформаторным маслом и лаками и покрывают снаружи водостойким лаком, что замедляет процесс ее увлажнения.

В качестве примера отметим, что среднее значение электрической прочности бука составляет 3...4 МВ/м до пропитки и 5...7 МВ/м после пропитки олифой или парафином.

Бумага по своему применению в электротехнике подразделяется на конденсаторную, кабельную, пропиточную, намоточную, микрокалентную, хлопковую и др.

Конденсаторная бумага наиболее тонкая (0,006...0,025 мм), плотная (1...1,25 г/см³) и высококачественная, что обеспечивает высокие значения удельной емкости (она приблизительно обратно пропорциональна толщине диэлектрика) и электрической прочности, а также надежность ее работы под воздействием высоких напряженностей поля. Электрическая прочность конденса-

торной бумаги после пропитки маслом составляет 250...300 МВ/м. Рабочие же напряженности поля в бумажных конденсаторах с жидкой пропиткой обычно составляют 25...35 МВ/м при постоянном напряжении питания и 12...15 МВ/м при переменном (50 Гц), $\epsilon = 3,7$, $\text{tg}\delta = 0,002...0,003$.

В настоящее время в электронной технике конденсаторная бумага постепенно вытесняется синтетическими пленками.

Кабельная бумага подразделяется на три вида: кабельная, применяемая для изоляции кабелей любого напряжения, а также для изоляции арматуры кабельных линий и обмоточных проводов больших сечений, которые используются в силовых трансформаторах; телефонная для изоляции телефонных кабелей и полупроводящая бумага, которую используют для экранирования изоляции силовых высоковольтных кабелей. Плотность бумаги 0,76...1,0 г/см³. Марки бумаги К, КМ, КВ, КВУ, КВМУ, КВМ, КТ и КТУ означают следующее: К — кабельная, В — высоковольтная, М — многослойная, У — уплотненная, Т — телефонная, рядом расположенные цифры означают толщину бумаги (в микронах). Наибольшее распространение получили бумаги толщиной 80, 120 и 170 мкм, особенно бумага К-120, используемая при ремонте электрооборудования в сельском хозяйстве.

Электрическая прочность кабельной бумаги составляет 8...10 МВ/м до пропитки и 70...80 МВ/м после пропитки масляно-канифольным компаундом; расчетная (рабочая) прочность принимается равной 30...50 МВ/м.

Пропиточная бумага применяется для изготовления листового гетинакса, а намоточная — для изготовления пластиков в виде цилиндров. Эти бумаги имеют повышенную впитываемость за счет некоторого снижения плотности (до 0,75...0,5 г/см³).

Микалентная бумага применяется для производства слюдяных материалов — микаленты и микафолья. Ее изготавливают из длиноволокнистого хлопка, смачивание лаком не снижает ее механическую прочность.

Хлопковая бумага применяется для производства лакобумаги (типа БЛХ). Для изоляции отводов и других узлов трансформаторов у нас в стране стала применяться крепированная бумага, имеющая линии крепа, нанесенные перпендикулярно направлению выработки бумаги.

В настоящее время применяются некоторые методы модификации целлюлозы, позволяющие повысить нагревостойкость бумаги, снизить ее гигроскопичность или придать ей другие свойства. Одним из таких методов является ацетилирование бумаги (обработка уксусной кислотой с последующей промывкой).

Повышение нагревостойкости (на 10...25°) и стабилизация свойств бумаги (стабилизированная бумага) достигаются обработкой ее водным или спиртовым раствором цианамиды.

В настоящее время в нашей стране и за рубежом находят применение бумаги из смеси целлюлозы с синтетическим волокном.

например с волокном типа нитрон, лавсан, или полностью состоящие из синтетических волокон с использованием волокнистых полимерных связующих (ВПС). Такие бумаги имеют улучшенные по сравнению с обычными бумагами электрические свойства, также меньшую гигроскопичность и более высокую нагревостойкость. Например, в США фирма «Дюпон» применяет бумагу по составу из ароматического компаунда в качестве пазовой и витковой изоляции низковольтных двигателей, а также для изготовления композиционных материалов в сочетании с пленками и высоковольтными слоистыми материалами. Бумага такого типа получила у нас название фенолформальдегидная. «Дюпон» отмечает, что повышение прочности бумаги номекс можно добиться добавкой в нее до 10% массы.

Электрокартоны — это материалы на основе целлюлозы, имеющие высокую прочность при трансформаторостроении, используются в высоковольтных машинах и аппаратах. Они подразделяют на два типа: рыхлой структуры в жидкости, а более твердой и упругой в масле. Если в производстве трансформаторов сухого типа синтетические материалы высокой нагревостойкости в значительной степени вытеснили электроизоляционный целлюлозный картон, то для изготовления и ремонта высоковольтных силовых трансформаторов он пока является единственным материалом, который при работе в масле или другой изоляционной жидкости может обеспечить надлежащие характеристики и в первую очередь высокую электрическую прочность системы изоляции.

Основные необходимые свойства трансформаторного электрокартона — высокая электрическая прочность в масле, стойкость к воздействию частичных разрядов и малая сжимаемость (усадка). Эти характеристики картона определяют эксплуатационную надежность изоляции трансформатора. В СССР трансформаторный картон изготавливается четырех марок (А, Б, В, Г), толщиной 1...6 мм (кроме Г, толщина которого 1...3 мм). Наибольшее распространение при техническом обслуживании, текущем и капитальном ремонте электрооборудования получил картон толщиной 2, 4, 5 мм, для него одномоментное пробивное напряжение должно быть не менее 40...45 кВ (при 50 Гц), сжимаемость при минимально допустимых давлениях не выше 18% (при давлении 20 МПа не более 2%), а усадка после сушки в свободном состоянии не более 6%.

Для улучшения характеристик трансформаторного картона применяется модифицированная целлюлоза и хлопковое или тряпичное волокно.

Например, в США применяется картон «Пермалекс» на рабочую температуру до 130°C (403 К) из модифицированной сульфатной целлюлозы. В нашей стране разрабатываются новые виды картона, причем характеристики отечественных электрокартонов не уступают лучшим образцам зарубежных.

С целью уменьшения гигроскопичности картон пропитывают лаками и эмалями. Для повышения эластичности в композицию картона вводят хлопковое волокно. Картон марок ЭВ (электрокартон воздушный) и ЭТВ (тряпичный) вырабатывают без применения проклеивающих веществ, картон марки ЭВП (для пазовой изоляции электрических машин) проклеивают для уменьшения его гигроскопичности канифольным клеем, а картон марки ЭВС (специальный), кроме канифольного клея, — крахмалом. Картон марки ЭВП при толщине 0,2 мм должен иметь электрическую прочность не менее 9...12 МВ/м и число двойных перегибов не менее 4000.

Фибра — многослойный пергаментированный картон, обработанный в горячем растворе хлористого цинка. Клейкий слой, образованный на поверхности волокон, позволяет прессовать листы до необходимой толщины (марка ФЭ). Затем происходит выщелачивание и сушка фибры. Фибра может быть изготовлена и в виде трубок или любой другой формы (путем механической обработки).

Электрическая прочность фибры составляет 1,0...3,5 МВ/м в зависимости от толщины. К сожалению, фибра гигроскопична и поглощает до 60...65% влаги за 24 ч. При высокой влажности фибра растрескивается, расслаивается, в горячем трансформаторном масле она становится хрупкой.

Листовая фибра различной расцветки применяется в электро-, машино- и аппаратостроении для изготовления шайб, прокладок, пазовых клиньев и т. п.

Из фибровых трубок изготовляют элементы дугогасительных трубчатых разрядников, газогенерирующие изоляционные корпуса низковольтных предохранителей и т. п.

Волокнистые текстильные материалы органического происхождения — это текстильные материалы из натуральных волокон: хлопчатобумажная пряжа (суровая, крученая, кордная, гребенная, кабельная), ленты, ткани и натуральный изоляционный шелк, а также из искусственных волокон: вискозное (стандартное, кордное, полишозное-хлопкоподобное), медно-аммиачное (химическая структура подобна структуре вискозного), ацетатное и триацетатное, полиамидное (нейлон, капрон, перлон, силон, энант), полиэтилентерефталатное (лавсановое), полиуретановое, полиакрилонитрильное (нитрон, орлон), поливинилхлоридное, полиэтиленовое, политестирольное и т. п. волокна.

Наибольшее распространение в электромашиностроении получили шелк натуральный, вискозный, ацетатный, капрон, лавсан. Сравнение толщины, механических и диэлектрических характеристик этих диэлектриков показывает, что наихудшие свойства имеют хлопчатобумажное и вискозное волокно, причем последнее отличается только красивым цветом; наилучшие свойства имеют ацетатный шелк, капрон и лавсан.

Недостаток шелков — высокая степень скольжения нитей, из-за чего могут образовываться просветы в наложенной на провод изоляции.

Эти материалы применяются в виде пряжи, лент и тканей. Наибольшее распространение при эксплуатации и ремонте электрооборудования получили тафтяная лента $0,25 \times 15$ мм и киперная — $0,45 \times 25$ мм. Их основное достоинство — высокая механическая прочность. Недостаток их — высокая гигроскопичность, невысокие диэлектрические свойства и значительная толщина.

Волокнистые материалы неорганического происхождения — стекло, асбест, плавленный кварц, каолин и др.

Наиболее широкое распространение в электропромышленности получили стеклянные волокнистые материалы, а также асбестовые.

В чистом виде стекло применяется для изготовления различного типа изоляторов, в виде волокон оно применяется для изготовления изоляции проводов, лент, тканей и т. п.

Стекловолоконное волокно обладает высокой нагревостойкостью (от 450 до 1000°C и даже выше, в зависимости от состава), малой гигроскопичностью и достаточно высокой химостойкостью.

Электрические свойства стеклянных тканей: $\rho_v = 4 \cdot 10^{12} \dots 1 \cdot 10^{15} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, $\text{tg} \sigma = (9 \dots 28) \cdot 10^{-4}$, $E_{\text{пр}} = 4 \dots 5 \text{ МВ/м}$. Недостаток стекловолоконной изоляции — повышенная хрупкость волокна, низкая стойкость к истиранию и малое удлинение при разрыве (2...3%).

Стекловолокно из крученых стеклянных нитей применяется для изоляции монтажных и обмоточных проводов.

Тканые ленты из стекловолокна применяются в изоляции электрических машин и аппаратов. Нетканые ленты марки ЛСБ-В и ЛСБ-Г предназначаются для бандажирования якорей и роторов электрических машин классов изоляции В и F.

Шнур и чулок из стекловолокна марки АСЭЧ (авиационный стеклянный электроизоляционный чулок) имеет толщину 0,30...0,35 мм при внутреннем диаметре от 1 до 8 мм и предназначен для изоляции проводов, а шнуры полые круглые предназначены для изготовления нагревостойких электроизоляционных трубок с внутренним диаметром от 1,5 до 11,0 мм и толщиной стенки от 0,29 до 0,78 мм.

Шнур электроизоляционный марки ШЭС применяется для бандажирования обмоток электрических машин.

Стеклоянная бумага марки СБР толщиной от 0,04 до 0,12 мм применяется для изготовления нагревостойких гибких стекломиканитов и стекломикалент. Ее изготавливают на основе бесщелочных стеклянных волокон, проклеенных органическими и кремнийорганическими соединениями.

Лента стеклянная марки ЛСП-Ш (штапельированная пряжа) предназначается для создания защитных покровов кабеля вместо кабельной пряжи.

В качестве высоконагревостойкой электрической и тепловой изоляции в настоящее время используют волокна кварцевые, кремнеземные, каолиновые, базальтовые и др. и изделия на их основе.

Асбест — группа водных магнезиально-силикатных минералов, имеющих волокнистую структуру. После очистки из него полу-

чают длинные нити. Для улучшения сцепления между волокнами к ним добавляют хлопковое волокно или тальк. Из нитей получают шнуры и ткани. Бумагу и картоны изготавливают из жидкой массы, в состав которой входят измельченные волокна асбеста, вода и связующие.

Особенность асбеста — высокая нагревостойкость (до 400°C или 673 К), эластичность и прядильная способность; недостаток — относительно большая толщина волокон, гигроскопичность, механическая прочность ниже прочности стеклянного волокна, но подчас выше хлопчатобумажного.

Для асбеста $\rho_V = 10^9 \dots 10^{10}$ Ом·м, но железистый асбест имеет $\rho_V = 10^4$ Ом·м и применяется в качестве материала с повышенной электрической проводимостью для выравнивания электрического поля (например, в лобовой части обмоток электрических машин).

Из асбестовых волокон изготавливают нити, пряжу, шнуры, чехлы, плетеные трубки, ткани, ленты, бумагу, картон.

Асбестовые и асбестостеклянные ленты широко применяются в качестве электрической изоляции; пропитанная лаками асбестовая бумага применяется для витковой и корпусной изоляции электрических машин, аппаратов и трансформаторов, изготовления пазовых коробочек, прокладок, трубок и т. п.; картон применяется в качестве огнезащитного, термо- и электроизоляционного материала, а также для уплотнений соединений в приборах, аппаратах и коммуникациях; шнуровой асбест типа ШАОН используется в электродонагревателях, широко применяемых в сельском хозяйстве.

Электронитовая масса (асбодин) — материал, состоящий из асбестового волокна, синтетического каучука и наполнителя; применяется для изготовления методом прессования в нагретом состоянии электроизоляционных изделий, обладающих повышенной нагревостойкостью и искростойкостью при высокой механической прочности; имеет $E_{пр}$ не менее 6 МВ/м, $\rho_V = 10^{11}$ Ом·м.

Листовой электронит — листовой материал, изготовленный из асбеста, каучука и применяемый в качестве изоляции в электрических машинах и аппаратах, при толщине 0,3...0,5 мм имеет электрическую прочность не менее 6 МВ/м.

Асбоцементные плиты (электротехнические, дугостойкие) изготавливаются из смеси портландцемента и асбестового волокна; имеют электрическую прочность не менее 2 МВ/м при толщине до 10 мм и 1,5 МВ/м при толщине 12 мм и более, $\rho_V = 10^9 \dots 10^7$ Ом·м.

Пропитанные волокнистые материалы различного происхождения (пропитанные электроизоляционными лаками) отличаются повышенными электрической прочностью, теплопроводностью и механической прочностью, сниженной и замедленной влагопоглощаемостью, повышенной нагревостойкостью. К пропитанным волокнистым материалам относят локоткани, лакобумаги, лакированные трубки и изоляционные ленты. Их основные свойства — высокая

механическая и электрическая прочность при малой толщине, гибкость, эластичность и водостойкость.

Лакоткани делятся следующим образом.

1. Хлопчатобумажные и шелковые, в том числе из синтетических волокон, следующих марок: ЛХМ (лакоткань, хлопчатобумажная, масляная), ЛХМС (светлая), ЛХП (полиэфирная), ЛХБ (битумно-масляная), ЛШМ и ЛШМС (шелковая), ЛКМ и ЛКМС (капроновая).

2. Стеклолакоткани марок: ЛСМ, ЛСБ (битумно-масляно-алкидная), ЛСП (полиэфирно-эпоксидная), ЛСК (кремнийорганическая).

3. Стеклолакоткани на основе фторопластов марок Ф-4Д-ЭО1 и Ф-40Д-ЭО1 и др.

4. Резиностеклолакоткани марок: ЛСЛ (латексная), ЛСЭ (эскапоновая), ЛСКР (кремнийорганическая), РСК (кремнийорганическая резиностеклоткань).

5. Липкие и самосклеивающиеся стеклолакоткани и резиностеклолакоткани марок ЛСЭПЛ и ЛСЭПЛМ (эскапоновая с липким слоем), ЛСКЛ (кремнийорганическая липкая), ЛСТР (полиэфирноэпоксидная самосклеивающаяся, терморезистивная) и РЭТСАР—А и Б (кремнийорганическая самосклеивающаяся резиностеклоткань).

У большинства лакотканей за обозначением ее марки следует обозначение нагревостойкости (длительной рабочей температуры). Например, ЛХМ-105 означает: лакоткань хлопчатобумажная масляная, нагревостойкость 105°C. Она широко применяется в эксплуатации и ремонте сельских электроустановок, в частности при ремонте кабельных линий напряжением 0,4 кВ.

Масляные хлопчатобумажные лакоткани обладают высокими электрическими свойствами, прочностью при растяжении, устойчивостью к воздействию минеральных масел, бензина и воды, но имеют относительно большую толщину (до 0,30 мм) и повышенную стойкость к тепловому старению.

Полиэфирные хлопчатобумажные лакоткани более устойчивы к тепловому старению, а масляно-битумные имеют более высокие электрические свойства, повышенную влагостойкость и меньшую склонность к тепловому старению, но нестойки к действию масел и бензина. Поэтому масляные лакоткани находят применение для изоляции масляных трансформаторов, а масляно-битумные — электрических машин. Масляно-шелковые лакоткани имеют значительно меньшую толщину (от 0,04 до 0,15 мм), более высокие электрические свойства (почти в 1,5 раза) и значительное относительное удлинение при растяжении в любом направлении.

Капроновые лакоткани наиболее эластичны, но имеют значительную усадку при нагреве и недостаточную нагревостойкость.

Электрические свойства различных лакотканей толщиной 0,15...0,17 мм неодинаковы; их пробивное напряжение, например, колеблется в пределах от 3,5 до 7,7 кВ.

Нагревостойкость стеклолакотканей определяется нагревостойкостью пропитывающего состава. В зависимости от пропитывающего состава стеклолакоткани делят на классы нагревостойкости от А до Н. Полиэфирноэпоксидные стеклолакоткани класса F обладают наиболее высоким пробивным напряжением, стабильны по свойствам в процессе длительного нагрева при рабочей температуре, масло- и бензиностойки.

Кремнийорганические стеклолакоткани и резиностеклолакоткани наиболее нагревостойки (класс Н), имеют малую зависимость электрических свойств от температуры и влажности среды. Их недостаток — пониженная маслостойкость, недостаточная устойчивость к действию органических растворителей и пониженная механическая прочность лаковой пленки.

Стеклолакоткани находят широкое применение для изоляции электрических машин и трансформаторов различного назначения. Стеклолакоткани на основе фторопласта (пропитка суспензией фторопласта) отличаются наиболее высокой нагревостойкостью, повышенными электрическими свойствами, химостойкостью и невоспламеняемостью, но они более жестки и упруги. Поэтому их применяют чаще всего в виде различных межслоевых, межфазных прокладок в дросселях и трансформаторах и для пазовой изоляции.

Резиностеклолакоткани выпускают классов нагревостойкости от А до Н, они отличаются повышенной эластичностью. В ряде случаев их используют в качестве основной изоляции вместо материалов из слюды.

Латексная и эскапоновая резиностеклолакоткани относятся к классу нагревостойкости Е, их недостаток — быстрое старение и недостаточная водостойкость.

Липкие и самосклеивающиеся стеклолакоткани и резиностеклолакоткани с одной или двух сторон покрыты специальным липким составом, который после высыхания на холоде или при нагреве обладает липкостью и способностью к самосклеиванию. Обладая термоактивностью, такое связующее при многослойной изоляции превращает ее в монолит. Чаще всего эти материалы идут для изоляции электрических машин и аппаратов взамен micaленты.

Лакобумага представляет собой пропитанную масляно-фенольным лаком конденсаторную или хлопковую бумагу. Обладая малой толщиной (от 0,04 до 0,10 мм), бумага по маслостойкости, бензостойкости и электрическим свойствам не уступает масляным лакотканям и является их ценным заменителем в низковольтном электромашино- и аппаратостроении при отсутствии требований в отношении эластичности и механической прочности. Лакобумага относится к классу нагревостойкости А.

Лакированные трубки — шнур-чулки из волокнистых материалов, пропитанные и многократно покрытые электронизоляционными лаками. По основе их подразделяют следующим образом.

1. Хлопчатобумажные и шелковые трубки линоксиновые следующих марок: ТЛВ, ТЛМ, ТНХ (масляные хлопчатобумажные),

ТЛШ (масляные шелковые); ТПЛ (полиэфирные лавсановые), ТЭЛ (полиэфирно-эпоксидные лавсановые).

2. Трубки из стекловолокон марок: ТСЛ (масляные), ТЭС (полиэфирно-эпоксидные), ТКР и ТКС (кремнийорганические), ТКСГ и ТКСП (из кремнийорганической резины, армированные).

Трубка марки ТЛВ обладает повышенными электрическими свойствами, удовлетворительной маслостойкостью и предназначена для работы на воздухе при рабочей температуре от -50 до 105°C (от 223 до 373 К) для изоляции и защиты проводов, в частности выводных концов в электрических машинах, аппаратах и приборах.

Трубка ТЛМ маслостойка, может работать в горячем трансформаторном масле, а также использоваться, как и трубка ТЛВ. Трубка ТНХ низковольтная, имеет пониженные электрические и механические свойства и маслостойкость, поэтому используется для изоляции монтажных проводов в светотехнических изделиях при рабочей температуре от -50 до 105°C (от 223 до 373 К).

Трубки электроизоляционные из эластомеров марки ТКР изготовляются из кремнийорганической резины марки К-8 и применяются для изолирования внутримашинных соединений электрических машин и выводов аппаратных катушек. Эти трубки предназначены для работы при напряжении до 660 В и температуре от -60 до 180°C (от 213 до 453 К). Их выпускают длиной не менее 10 м с внутренним диаметром от 1 до 18 мм и толщиной стенок от 0,9 до 1,6 мм. В различных состояниях (в состоянии поставки после увлажнения, нагрева, пропитки в лаке К-47, пребывания в ксилоле, после растяжения) они имеют минимальное пробивное напряжение при одноминутном испытании в пределах от 1 до 5 кВ.

Трубки электроизоляционные марки ТЭС (диаметром 6 мм) изготовляются из уплотненного стеклошнура, пропитанного эпоксидно-эфирным лаком ЭПС-1.

Трубку электроизоляционную марки ТКСП изготовляют из пленочного (аппретированного) стеклошнура (чулка) с кремнийорганической оболочкой, пропитанного лаком КО-825. Она относится к классу нагревостойкости Н. Ее выпускают с внутренним диаметром 1,0...10,0 мм, поставляют в бухтах.

По сравнению с лакированными трубками ТЭС, ТКС и ТКР трубки ТКСП обладают повышенной гибкостью, лучшими электроизоляционными и механическими характеристиками, а также стойкостью к механическим повреждениям. Их применяют в асинхронных двигателях с напряжением до 660 В.

§ 14. Пленочная изоляция

В последнее время в электропромышленности получила распространение пленочная изоляция, обладающая очень высокими электроизолирующими свойствами. Так, например, триацетатцел-

люлозная пленка при толщине 0,02...0,025 мм имеет пробивное напряжение 3,7...3,8 кВ в исходном состоянии, 1,5...2,5 кВ после одно-трехсуточного пребывания в воде и 2...4 кВ после нагрева до 120...140°C (393...413 К).

Пленку накладывают на провода в виде ленты или продольным наложением при помощи специальных машин. Пробивное напряжение эмалированного провода с наложенной пленочной изоляцией достигает 3...8 кВ при поставке и 5...10 кВ после суточного пребывания в среде с температурой 120°C (393 К). Обычно эту изоляцию применяют в сочетании с капроновой или хлопчатобумажной обмоткой. Недостаток пленочной изоляции — малая короностойкость и механическая прочность.

Однако в последнее время в электродвигателях серии 4А химстойкого, сельскохозяйственного и влагоморозостойкого исполнения в качестве пазовой изоляции применяется полиэтилентерефталатная пленка типа ПЭТФ толщиной 0,2...0,35 мм, обладающая высокими, как диэлектрическими, так и механическими характеристиками. Пленки лавсан, майлар, хостофан, терилен и т. п. применяются для изоляции обмоточных и монтажных проводов, для пазовой изоляции, в конденсаторостроении и т. п. при рабочих температурах до 120°C (393 К).

Поликарбонатная пленка (макрофоль и др.) применяется для тех же целей, а также для изоляции высоковольтных кабелей. Продукты полимеризационных смол тефлон и фторопласт-4 толщиной 0,02...0,04 мм применяются для изоляции нагревостойких обмоточных, монтажных и специальных проводов, для нагревостойкой пазовой изоляции и т. п.

Триацетатные пленки применяются для изоляции секций обмоток электрических машин и аппаратов, а также некоторых типов обмоточных проводов. Одновременно электропромышленность применяет в качестве пазовой изоляции для машин тропического и морского исполнения импортные лаковые пленки типа «Тривольтери», «Изоном», «Изофлекс-2», «Изофлекс-3» и др.

Полистирольные пленки (стирофлекс, стирофоль) используют для изоляции телефонных кабелей дальней связи, в производстве конденсаторов и т. п.

Полиэтиленовые пленки повышенной нагревостойкости применяют как электроизоляцию полиэтиленовых кабелей и т. п., а обычной нагревостойкости — для консервации ответственных изделий.

Полиакрилатная пленка (типа ПАР) находит применение за рубежом в производстве обмоточных и монтажных проводов на рабочие температуры до 150°C (423 К).

Полиамидные пленки (типа ПАМ) применяют при производстве обмоточных проводов класса нагревостойкости У.

Полиимидные пленки (типа ПИ) нашли применение для изготовления корпусной изоляции двигателей, предназначенных для тяжелых условий эксплуатации (тяговых, металлургических и

т. п. Эти пленки заменяют слюдяную изоляцию, так как срок их службы при 250°C (523 К) составляет 8 лет, а электрическая прочность примерно вдвое выше, чем у mica-ленты.

Полиуретановые пленки нашли применение в конденсаторостроении, они обладают очень высокими диэлектрическими свойствами.

§ 15. Слоистые пластики и комбинированные электроизоляционные материалы

Слоистые пластики — материалы, изготовленные посредством прессования или намотки пропитанных или лакированных волокнистых наполнителей. К ним относятся гетинакс (бумолит), текстолит, текстогетинакс (ткань хлопчатобумажная и бумага целлюлозная), асбогетинакс, асботекстолит, стеклотекстолит и древесно-слоистые пластики (шпон древесный) ДСП.

Слоистые пластики анизотропны, и поэтому свойства их вдоль и поперек слоев различны. Слоистые пластики нашли широкое применение для изготовления различных электроизоляционных изделий и деталей электрических машин, аппаратов и приборов: прокладки, шайбы, клинья, щитки, панели, перегородки и т. п.

Гетинакс имеет недостаточную дугостойкость и влагостойкость. Текстолит имеет пониженные диэлектрические характеристики, но повышенную удельную ударную вязкость и стойкость к истиранию. Стеклотекстолит — текстолит на основе стеклянной ткани, пропитанной полиорганосилоксановой смолой, обладает высокими диэлектрическими характеристиками, большой механической прочностью, влаго- и нагревостойкостью. Он широко применяется для изоляции сухих трансформаторов и выключателей, держателей нагретых электродов, а также для трансформаторов, залитых совтолом, аппаратуры тропического исполнения и т. д. Например, стеклотекстолит влагостойкий марки СТБК применяется в качестве диэлектрика в условиях тропического влажного климата (относительная влажность $95 \pm 2\%$ при температуре +35°C или 308 К), может использоваться при температурах от -60 до +180°C (от 213 до 453 К) или кратковременно до +300°C (573 К), хорошо обрабатывается механически. Электрическая прочность в трансформаторном масле при температуре 90°C — 8...12 МВ/м (в зависимости от толщины).

Текстолит электротехнический листовой марки ЛТ близок к стеклотекстолиту по своим характеристикам, он состоит из синтетической ткани (лавсан), пропитанной эпоксино-фенольной смолой, и применяется в условиях высокой влажности и температуры, включая тропический климат.

Асбогетинакс листовой электротехнический марки А2 изготовляют на основе асбестовой электроизоляционной бумаги, не содержащей целлюлозы, и эпоксино-фенолоформальдегидного связующего. Его применяют в качестве электроизоляцион-

ного малоусадочного материала класса нагревостойкости В при изготовлении клиньев, уплотняющих прокладок для умеренного и влажного тропического климата.

Древеснослоистые пластинки широко применяются в высоковольтной аппаратуре. Электрическая прочность перпендикулярно слоям достигает 2...2,5 МВ/м (гетинакс) и 3...4 МВ/м (ДСП), она зависит от толщины пластика, его составных частей и рабочей среды.

Стеклопластик профильный марки СПП-2, изготовленный протяжкой через обогреваемые фильтры стекложгутов, выпускается в виде прутков различного сечения и применяется в качестве пазовых клиньев электрических машин, работающих при температуре от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$ (от 213 до 423 К).

Комбинированные электроизоляционные материалы также являются слоистыми и состоят из полимерной пленки или пластика, склеенных или спрессованных с волокнистыми материалами, электрокартоном, асбокартоном, пропитанной стеклотканью, бакелизированной бумагой и др.

Пленкоэлектрокартон на полиэтилентерефталатной пленке — рулонный материал, получаемый склеиванием электроизоляционного картона с полиэтилентерефталатной пленкой толщиной 0,05 (тонкий) или 0,1 мм. Общая толщина от 0,17 до 0,32 мм ($\pm 0,02...0,03$ мм). Среднее пробивное напряжение в различных состояниях лежит в пределах от 11 до 7 кВ.

Пленкоасбокартон листовой — гибкий материал, состоящий из полиэтилентерефталатной пленки толщиной 0,05 или 0,1 мм, оклеенной с двух сторон изоляционным асбокартоном толщиной 0,3...0,03 мм при помощи раствора каучука. Электрическая прочность в различных условиях 15...25 МВ/м. Пленкоасбокартон применяют в качестве изоляционного материала в электрических машинах, работающих при температуре от -40 до 130°C (от 233 до 403 К).

Пластик электроизоляционный с полиэтилентерефталатной пленкой «Изофлекс-2» — композиционный материал из стеклоткани, оклеенной с двух сторон пленкой при помощи полимерных составов, имеющий более высокие электрофизические свойства, чем гибкая миканитовая изоляция. Этот пластик применяют в качестве пазовой, междуфазной и междуслоевой изоляции в электрических машинах, в том числе новой серии 4А и аппаратов классом нагревостойкости В. Он обладает высокой влаго-, водо-, химо- и морозостойкостью. Толщина материала 0,2 мм. Электрическая прочность — 100...130 МВ/м.

Пластик электроизоляционный листовой с полиимидной пленкой «Изофлекс-3» в отличие от «Изофлекса-2» имеет класс нагревостойкости Н, толщина от 0,2 до 0,4 мм. Электрическая прочность — 90...100 МВ/м.

Пленкосинтокартон — рулонный гибкий композиционный материал на основе пленки ПЭТФ и фениловой бумаги. Применя-

ется в качестве пазовой и межфазной изоляции асинхронных электродвигателей с высотой осей вращения 160...250 мм, имеет толщину 0,3...0,4 мм, электрическую прочность 55...60 МВ/м, относится к классу нагревостойкости В, работает в интервале температур 50...130°C (323...403 К). Позволяет механизировать процессы изолирования обмотки электрических машин.

Рулонный электроизоляционный материал марки РЭМ — слоистый материал тонкий, состоит из одного — трех слоев стеклоткани, пропитанной эпоксидно-фенольной смолой, с разделительным слоем из триацетатной пленки. Толщина 0,3; 0,5; 0,8 мм. Электрическая прочность не менее 20 МВ/м. Применяется для работы на воздухе при напряжении выше 1000 В и частоте 50 Гц [при температуре 15...35°C (288...308 К) и влажности 45...75%], а также при напряжении менее 1000 В во влажной среде [при температуре 35°C (308 К) и влажности $95 \pm 2\%$].

Электронит — материал, полученный горячим вальцеванием из асбокаучуковой композиции, выпускается в виде листов толщиной от 0,3 до 3 мм. Электрическая прочность 6 МВ/м.

Электронит панельный марки ПЭ-1 (асбогетинакс) — слоистый пластик, изготовленный горячим прессованием из термообработанного электронита и бакелизированной бумаги толщиной от 6,0 до 30 мм. Материал хорошо обрабатывается. Электрическая прочность в нормальных условиях не менее 5 МВ/м. Теплостойкость по Мартенсу не менее 200°C (473 К).

§ 16. Слюдяные материалы и эластомеры

Слюдяные материалы. Слюдяными электроизоляционными материалами называются материалы, изготовленные на основе тонких пластинок щипаной природной или синтетической слюды или слюдяной бумаги. Щипаная слюда постепенно заменяется слюдяной бумагой.

В чистом виде слюда применяется в эталонных конденсаторах, имеющих низкие диэлектрические потери и высокую стабильность емкости (конденсаторная слюда), в телевизионных трубках (телевизионная), в радиолампах и других приборах.

Молотая слюда применяется как наполнитель в некоторых резиновых смесях, для прессующих составов, обмазки сварочных электродов.

Материалы, изготовленные из щипаной слюды, получили название «миканиты», а из слюдяной бумаги — «слюдиниты» или «слюдопласты».

Миканиты представляют собой листовые или рулонные материалы, полученные склеиванием между собой пластинок щипаной слюды. В качестве склеивающих материалов применяются различные смолы или лаки, чаще синтетические. Слюдяные материалы могут склеиваться с одной или двух сторон подложкой — волокнистым материалом. Листовые материалы из слюды называют мика-

нитами, а рулонные — микафолием и микалентами. По области применения различают пять основных видов миканитов: коллекторный (к), прокладочный (п), формовочный (ф), гибкий (г) и термоупорный (т). Гибкий миканит, оклеенный с одной или с двух сторон стеклотканью, называют гибким стекломиканитом.

Коллекторный миканит наиболее высококачественный, количество связующих в нем не более 4...6%. После клейки миканит подвергается неоднократной опрессовке, фрезерованию и шлифовке для получения заданных размеров.

Прокладочный миканит отличается от коллекторного большим содержанием связующих (до 25%), меньшей плотностью и большими допусками по толщине. Применяется для изготовления шайб и прокладок в электрических машинах и трансформаторах.

Формовочный миканит по качеству близок к прокладочному, он должен формоваться в нагретом состоянии, из него изготавливают манжеты в коллекторах и другие фасонные изделия.

Гибкий миканит в отличие от формовочного имеет гибкость и в холодном состоянии, что достигается малой его толщиной и применением соответствующих лаков. Его применяют для пазовой изоляции, изоляции межкатушечных соединений в высоковольтных машинах и т. д.

Термоупорный миканит изготавливается из слюды флогопит и имеет обычно очень малое количество (не более 3%) неорганической связки.

Микафолий и микалента представляют собой композиционный материал, который состоит из одного или нескольких слоев щипаной слюды, склеенных между собой лаком, и с одной стороны имеет подложку из миканитовой бумаги, стеклоткани или стеклосетки. При наличии хлопчатобумажной или шелковой подложки материал называют микаполотном. Микалента обычно выпускается в виде роликов, а микаполотно — в виде рулонов.

Электрическая прочность слюдяных материалов составляет от 40 до 20 МВ/м в зависимости от вида материала и его толщины.

Новые материалы из слюдяных бумаг все более вытесняют материалы из щипаной слюды, они имеют более высокие свойства, более дешевы и менее трудоемки в изготовлении. Слюдиниты и слюдопласты, вместе взятые, с успехом могут заменить микаленты во всех областях их применения.

Слюдинитовую бумагу выпускают без основы (100-процентная слюдинитовая бумага) или с волокнистым подслоем. Слюдинитовая бумага с целлюлозным подслоем, пропитанная лаком, называется слюдинитофолием.

К слюдинитовым электроизоляционным материалам относятся слюдинитовая бумага, изготовленная из отходов слюды, стеклослюдинитовая бумага — то же, но с подложкой из стеклоткани или стеклосетки, слюдиниты — коллекторный, состоящий из слюдинитового картона, гибкий, гибкий нагревостойкий, формовочный па-

гревостойкий и ленты слюдинитовые, состоящие из склеенных между собой слюдинитовой бумаги и стеклоткани, ленты стеклослюдинитовые — то же, но в композиции с полиэтиленфталатной пленкой.

Бумага, полученная из кристаллов флогопита произвольной формы по особому технологическому процессу, называется слюдопластовой, а материалы, изготовленные из одного, а чаще из нескольких слоев слюдопластовой бумаги, обработанной различными связующими с подложкой и без нее, по аналогии со слюдинитами — слюдопластами.

По сравнению с микалентами слюдиниты обладают большей размерностью по толщине, повышенной и более равномерной электрической прочностью, что особенно важно в высоковольтных машинах, но имеют меньшую механическую прочность и влагостойкость.

Слюдопласты обладают большей механической прочностью чем слюдиниты, и по своей структуре ближе подходят к микалентам.

Стеклошпономикалента — слой слюды, склеенный при помощи полиорганосилоксановых лаков со стеклотканью, покрывающей слюду с одной стороны и стеклошпоном — с другой. При толщине стеклошпона 0,015...0,02 мм можно получить стеклошпономикаленту толщиной 0,1...0,15 мм, то есть близкой к толщине микаленты с бумажной подложкой. Стеклошпон — листовой материал, полученный путем наклеивания очень тонких стеклянных волокон на лаковую основу. Он может быть применен в качестве подложки для миканитов, так как имеет достаточно высокую разрывную прочность — 80 МПа. Электрическая прочность в исходном состоянии 49 МВ/м, при 200°C — 31 МВ/м.

Микалекс — твердый материал, полученный при горячей прессовке смеси порошкообразной смолы и тонкоразмолотого стекла. Изделия из микалекса можно механически обрабатывать. Обладая малыми диэлектрическими потерями, высокой нагревостойкостью и механической прочностью, микалекс нашел применение в высокочастотной технике, в сильноточной аппаратуре, в щеткодержателях двигателей электровозов, в ртутных выпрямителях и т. д.

Эластомеры. На основе натуральных и синтетических каучуков путем добавки к ним соответствующих наполнителей получают так называемые кабельные резины, широко применяемые в электропромышленности. Кабельные резины делятся на изоляционные и шланговые. Кроме того, в кабельной технике находят применение полупроводящие резины, применяемые для экранирования гибких кабелей, и починочные, используемые при ремонте кабелей.

Изоляционные резины разных типов (РТИ-0, РТИ-1, РТИ-2, РНИ) отличаются содержанием каучука (40...30%) и служат для изоляции токопроводящих жил и защитных средств для работы под напряжением (перчатки, галоши, коврики).

Шланговые резины (марки РШ-1, РШ-2, РШТ-2, РШМ-2

РШН-1, РШН-2) с содержанием каучука (50...40%) используют для изготовления шланговых оболочек для кабелей, работающих в самых различных условиях. Диэлектрические характеристики резин зависят от типа исходного каучука и составных компонентов. Так, значение удельного сопротивления путем изменения рецептуры изготовления можно варьировать в пределах от 0,1 до 10^3 Ом·м. Обычно чем выше содержание каучука в резине, тем лучше изоляционные свойства. Перечисленные выше марки изоляционных резин имеют: $\rho_V = 1 \cdot 10^8 \dots 1 \cdot 10^{12}$ Ом·м; $\text{tg}\delta = 0,05 \dots 0,1$; $\epsilon = 4 \dots 5$; $E_{\text{пр}} = 10 \dots 20$ МВ/м.

Более широкому распространению резин мешает их склонность к тепловому и световому старению, в результате чего они теряют эластичность и гибкость, становятся хрупкими и разрушаются, а также недостаточная нагревостойкость, водо- и химостойкость.

Кроме кабельных резин, в которых содержание серы не превосходит 5%, в электротехнике находят ограниченное применение твердая резина — эбонит с содержанием серы до 50%. Она выпускается в виде досок, палок, трубок, хорошо обрабатывается и используется в технике слабых токов.

Глава II

ПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие положения. Классификация проводниковых материалов

К проводниковым материалам относятся металлы, очищенные от примесей, а также сплавы металлов.

Чистые металлы используют для изготовления различного рода проводов: обмоточных, установочных, монтажных, кабелей, фольги. Проводниковые сплавы чаще всего применяют в виде проволок и лент в резисторах, добавочных сопротивлениях, потенциометрах.

Проводниковые материалы делятся на материалы высокой проводимости и материалы высокого сопротивления.

К первой группе относятся чистые металлы и некоторые сплавы, ко второй — только сплавы. Первые должны иметь как можно меньшее электрическое сопротивление (не более 0,05 мкОм·м или 0,05 Ом·мм²/м), вторые — наоборот (не менее 0,3 мкОм·м). Промежуточное значение между этими двумя основными группами занимают прочие металлы, например золото, молибден, вольфрам, цинк, никель, платина, олово, свинец, ртуть, находящие индивидуальное применение в электротехнике в качестве проводников электрического тока.

К особой группе проводниковых материалов относится электротехнический уголь, широко применяемый в электротехнике.

В последнее время особый интерес вызывают сверхпроводники и гиперпроводники — материалы, обладающие чрезвычайно малым удельным сопротивлением при весьма низких (криогенных) температурах, но это материалы будущего.

§ 2. Материалы высокой проводимости

К материалам высокой проводимости предъявляются следующие требования: возможно большая проводимость (возможно меньшее удельное сопротивление); возможно меньший температурный коэффициент удельного сопротивления; достаточно высокая механическая прочность, в частности предел прочности при растяжении и удлинении при разрыве, характеризующий в известной степени гибкость — отсутствие хрупкости; способность легко обрабатываться прокаткой, волочением для изготовления проводов малых и сложных сечений; способность хорошо свариваться и спаиваться, создавая при этом надежное соединение с малым электрическим сопротивлением; достаточная коррозионная стойкость. Для разных случаев применения эти требования в той или иной степени варьируют. Например, для большинства обмоток электрических машин и аппаратов выгоднее иметь как можно меньшее удельное сопротивление, даже если за счет его несколько снизится и предел прочности при растяжении. Для контактных (троллейных) воздушных проводов, работающих на разрыв и на истирание, особое значение приобретают механические характеристики: повышенные предел прочности при растяжении, твердость, стойкость против истирания.

Наиболее широко используемыми в электротехнике материалами высокой проводимости являются медь и алюминий.

Медь, применяемая в качестве проводникового материала, в зависимости от количества примесей имеет две марки (из общих десяти): М0 и М1. Первая обладает лучшими свойствами и из нее может быть получена тонкая проволока. Примеси ухудшают проводимость меди. Изделия из меди могут быть твердыми, неотожженными после прокатки, волочения, — медь МТ (твердая медная проволока) и мягкими, отожженными, — медь ММ. Удельное сопротивление меди колеблется примерно в пределах от 0,017 до 0,018 мКОМ·м; меньшее значение относится к мягкой меди, большее — к твердой.

Предел прочности при растяжении меди колеблется в пределах от 260 до 390 МПа, меньшее значение относится к мягкой меди, большее — к твердой; относительное удлинение при разрыве составляет 18...35% для мягкой меди и 0,5...2,5% для твердой.

Медь нашла самое широкое распространение для изготовления обмоточных проводов электрических машин и аппаратов (в том числе диаметром, равным тысячным долям миллиметра), шин, стержней, трубок, профильного проката, например полос трапециевидного сечения для коллекторных пластин. При этом мягкая медь идет на изготовление обмоточных проводов и кабелей, а твердая — контактных проводов и коллекторных пластин. Необходимо учитывать особенности меди при ее применении в сельскохозяйственном производстве — она усиленно корродирует в атмосфере животноводческих ферм, содержащей пары аммиака.

Алюминий по своему значению занимает второе место после меди среди проводниковых материалов, при этом значение алюминия все более возрастает, в частности в связи с недостатком меди. В электротехнике применяют алюминий, содержащий не более 0,5% примесей, марки А1. Еще более чистый алюминий марки АВОО применяют для изготовления фольги, электродов и корпусов электролитических конденсаторов. Алюминий наивысшей чистоты марки АВОООО имеет примесей не более 0,001%.

Алюминиевая проволока подразделяется на твердую неотожженную АТ, мягкую отожженную АМ, полутвердую АПТ и твердую повышенной прочности АТП. Удельное электрическое сопротивление алюминия почти одинаково для твердой и мягкой проволоки и составляет в среднем 0,029 мкОм·м; предел же прочности при растяжении резко различен и составляет 160...170 МПа для алюминиевой проволоки АТ и 80 МПа для АМ; соответственно удлинение при растяжении составляет 1,5...2% и 10...18%.

Для изготовления проводов и кабелей (ГОСТ 6132--71) используется алюминий марки АЕ (ГОСТ 4004—64). Поскольку алюминий в 3,3 раза легче меди, его широко применяют в крановом электрооборудовании, в электрооборудовании самолетов и т. п.

В последнее время мягкий алюминий очень широко используют для изготовления обмоток трансформаторов, установочных проводов, а твердый — для изготовления шин распределительных устройств и линий электропередач. В электропромышленности алюминий нашел широкое распространение для заливки короткозамкнутых роторов асинхронных электродвигателей.

Для замены свинца в защитных кабельных оболочках используется алюминий с содержанием примесей не более 0,01% (вместо 0,5% для обычного проводникового алюминия). Этот алюминий более мягок, пластичен и обладает повышенной стойкостью по отношению к коррозии. Сплавы меди с оловом, кремнием, фосфором, бериллием, хромом, магнием, кадмием и пр. получили название бронз, а с цинком — латуни.

Бронзы имеют значительно более высокие механические свойства, чем медь. Например, прочность бронз на разрыв может достигать 800...1200 МПа и более. Однако электропроводность бронз меньше, чем у меди. У разных бронз свойства различные. Так, кадмиевая твердотянутая бронза имеет электропроводность по отношению к меди 90%, а сопротивление разрыву — до 1050 МПа; твердотянутая фосфористая бронза — соответственно 10...15% и 1050 МПа. Еще большую механическую прочность имеет бериллиевая бронза (до 1350 МПа).

Кадмиевую бронзу применяют для контактных проводов и коллекторных пластин электрических машин особо ответственного назначения. Бронзы нашли широкое распространение для изготовления токопроводящих пружин.

Латунь достаточно пластична при повышенной механической прочности по сравнению с медью, поэтому из нее штампуют и вы-

тягивают различные токопроводящие детали, например обоймы для щеток, фасонные болты, гайки и т. п. При электропроводности в 4 раза меньше меди латунь в 2 с лишним раза прочнее (до 880 МПа) и пластичнее (удлинение до 5%).

Альдрей — сплав алюминия с марганцем, кремнием и железом — имеет удельное сопротивление, близкое к алюминию ($\rho = 0,0317$ мкОм·м), а временное сопротивление разрыву в два раза больше сопротивления алюминия (350 МПа) при той же плотности — 2,7 мг/м³.

Сталеалюминиевый провод (марки АС) широко применяется в линиях электропередач, представляет собой сердечник из стальных жил, обвитый снаружи алюминиевой проволокой. Механическая прочность этого провода определяется в основном стальным сердечником, а электрическая проводимость — алюминием. Увеличенный наружный диаметр сталеалюминиевых проводов уменьшает возникновение короны, так как уменьшает напряженность электрического поля на поверхности провода.

Сталь (железо) — дешевый, недефицитный и механически прочный металл, применяется как проводниковый материал для проводов линий связи, а также при передаче небольших мощностей, например, в сельскохозяйственных районах, где он используется в виде шпир, рельсов трамваев, электрифицированных железных дорог, метро и пр.

Для сердечников упомянутых выше сталеалюминиевых проводов применяются особо крепкая проволока с временным сопротивлением разрыву 1200...1500 МПа и удлинением при разрыве 4...5%.

Обычно применяемая в качестве проводникового материала мягкая сталь содержит 0,1...0,15% углерода и имеет электропроводность в 6...7 раз меньше по сравнению с медью, плотность около 7,8 мг/м³, временное сопротивление разрыву 700...750 МПа с удлинением при разрыве 5...8%, температура плавления 1400°C.

Железо имеет высокий температурный коэффициент сопротивления ТКР (около 0,057 К⁻¹), поэтому оно применяется в бареттерах — приборах, использующих зависимость сопротивления от тока.

Сталь имеет малую коррозионную стойкость, поэтому стальные провода обычно покрывают цинком.

Биметалл — сталь, покрытая снаружи слоем меди горячим или холодным способом. Механические и электрические свойства биметалла являются промежуточными между свойствами сплошного медного и стального проводника того же сечения; механическая прочность биметалла выше, чем меди, но электропроводность меньше. Содержание меди должно быть не менее 50% от полного веса проволоки. Временное сопротивление разрыву не менее 550...700 МПа, а удлинение не более 2%. Сопротивление 1 км биметаллической проволоки для постоянного тока при нормальной температуре (20°C или 293 К) и диаметре проволоки 1 мм составляет примерно 64 Ом, при 2 мм — 16 Ом, при 3 мм — 7 Ом и

при 4 мм — 4 Ом. Такая проволока широко применяется в линиях связи, а также в линиях электропередач, для изготовления шин распределительных устройств, полос для рубильников и т. п.

Натрий — весьма перспективный, самый легкий проводниковый материал. Однако он имеет удельное электрическое сопротивление в 1,7 раза больше, чем у алюминия, химически активен на воздухе и с водой, механически непрочен. Натриевые провода и кабели изготавливаются в полиэтиленовых оболочках, обеспечивающих его герметизацию, механическую прочность и электрическую изоляцию.

Припой — специальные сплавы, применяемые при пайке различных металлов. Как правило, спаиваемые металлы при пайке остаются твердыми, а припой, имеющие значительно меньшую температуру плавления, плавятся, и на границе соприкосновения припоя и металлов происходит сложный физико-химический процесс.

Припои подразделяются на мягкие и твердые. К мягким относятся припои с температурой плавления до 400°C (673 К), а к твердым — припои с температурой плавления выше 500°C (773 К). Предел прочности мягких припоев в 7...10 раз меньше, чем твердых.

Выбор припоя зависит от рода спаиваемых металлов, требуемой механической прочности шва, его удельной электрической проводимости и коррозионной стойкости.

Мягкими припоями в основном являются припой оловянно-свинцовые с содержанием олова от 18 (ПОС-18) до 90% (ПОС-90). Существуют мягкие припои с добавками алюминия, серебра, висмута и кадмия, имеющие пониженную температуру пайки, но при этом меньшую механическую прочность шва.

Наиболее распространенными твердыми припоями являются медно-цинковые (ПМЦ) и серебряные (ПСр).

Флюсы — вспомогательные материалы для получения надежной пайки. Они растворяют и удаляют окислы и загрязнения металлов и припоев, уменьшают поверхностное натяжение расплавленного припоя, улучшают его растекаемость и смачиваемость соединяемых им поверхностей. По воздействию на металл флюсы делятся на активные (кислотные), бескислотные, активированные и антикоррозионные. Первые готовят на основе соляной кислоты, хлористых и фтористых металлов и т. д. Они хорошо растворяют оксидные пленки на поверхности металлов, обеспечивая хорошую адгезию и, следовательно, высокую прочность шва. Однако остатки флюса вызывают интенсивную коррозию спая и основного металла, и поэтому при монтажной спайке электро- и радиоприборов активные флюсы не применяются. К бескислотным флюсам относятся канифоль и флюсы на ее основе с добавками спирта и глицерина, а к активированным — флюсы на основе канифоли с добавлением активаторов — небольших количеств солянокислого или фосфорнокислого анилина, салициловой кислоты и т. п. Часто эти флюсы позволяют паять без удаления окислов после обезжирива-

ния. Антикоррозионные флюсы готовят на основе фосфорной кислоты с добавлением различных органических соединений, также на основе органических кислот.

§ 3. Сплавы высокого сопротивления

Сплавы высокого сопротивления по своему применению подразделяются на три группы: для измерительных приборов, для реостатов, для электронагревательных приборов.

Первые сплавы имеют большее значение удельного сопротивления, малое значение ТК_ρ, малую термо-э. д. с. относительно меди и высокую стабильность свойств с течением времени.

Вторые сплавы, помимо большого значения удельного сопротивления, должны иметь повышенную нагревостойкость (до 200°C или 473 К) и отличаться дешевизной.

Третьи сплавы в отличие от второй группы сплавов должны иметь нагревостойкость еще выше — до 1000°C (1273 К) и даже выше.

Основными сплавами для измерительных приборов являются манганин и константан.

Манганин — сплав 86% меди, 12% марганца и 2% никеля. Допускаемая рабочая температура до 200°C (473 К), удельное сопротивление 0,42...0,48 мкОм·м; ТК_ρ около $(6...50) \cdot 10^6 \text{K}^{-1}$; коэффициент термо-э. д. с. по отношению к меди также очень мал — около 1...2 мкВ/К, механическая прочность при растяжении 450...600 МПа при удлинении 15...30%, плотность 8400 кг/м³.

Манганин — наилучший материал для образцовых резисторов (сопротивлений), магазинов сопротивлений и шунтов.

Константан — сплав 60% меди и 40% никеля. Удельное сопротивление 0,48...0,52 мкОм·м; ТК_ρ близок к нулю. По механическим свойствам константан близок к манганину.

Константан применяют для изготовления реостатов и электронагревательных элементов при рабочей температуре до 450°C (723 К).

Путем термообработки на поверхности константана можно получить электронизоляционную оксидную пленку с пробивным напряжением до 1 В.

В паре с медью или железом константан имеет коэффициент термо-э. д. с. порядка 43 мкВ/К (с медью) и 54 мкВ/К (с железом), поэтому он широко применяется при изготовлении термопар для измерения температуры до нескольких сотен градусов, но не может быть использован в измерительных схемах, особенно при мостовых и потенциометрических методах измерений.

Реостатные сплавы имеют, как правило, медную основу, но для удешевления стоимости сплава примерно половина содержания никеля заменяется цинком и железом. Удельное сопротивление таких сплавов 0,3...0,4 мкОм·м; длительно допустимая температура 200...300°C (473...573 К).

Сплавы для электронагревательных приборов имеют в своей основе металлы: железо, никель, хром, алюминий. Основные из этих сплавов — нихром, ферронихром, фехраль, хромаль. Их основные характеристики приведены в таблице 3.

Таблица 3

Сплавы для электронагревательных приборов	Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м	Предельная рабочая температура, °С (К)
Нихром	1,0...1,2	1000...1100 (1273...1373)
Ферронихром	1,0	1000 (1273)
Фехраль	1,2	800 (1073)
Хромаль	1,45...1,6	1300...1400 (1573...1673)

Механическая прочность сплавов при растяжении порядка 650...800 МПа при удлинении 10...30%, плотность примерно от 7 до 8,5 Мг/м³.

Длительность жизни проволоки зависит от равномерности ее сечения по длине, однородности состава и режима работы. В местах с уменьшенным сечением нагревательные элементы перегреваются и легче перегорают. При резких сменах температур происходит растрескивание оксидных пленок на поверхности проволоки и кислород воздуха, проникая в трещины, приводит к дальнейшему окислению сплава. Поэтому при многократном кратковременном включении электронагревательных приборов их элементы перегорают значительно быстрее, чем при непрерывной работе элемента при той же температуре. Длительность работы электронагревательных элементов может быть достигнута путем их герметизации, что используется в технике (электрические кипятильники и т. п.).

Нихромы весьма технологичны, их легко можно протягивать в сравнительно тонкую проволоку или ленту. Однако в них велико содержание дорогого и дефицитного компонента — никеля.

Фехраль и хромаль намного дешевле, но менее технологичны, более тверды, хрупки. Из них могут быть получены проволоки и ленты только относительно большого сечения. Поэтому они нашли применение в основном в качестве нагревательных элементов в электротермической технике для электронагревательных устройств большой мощности.

§ 4. Различные металлы

Свинец — мягкий пластичный малопрочный металл с плотностью 11,4 мг/м³, имеет высокую коррозионную стойкость к воде, серной и соляной кислотам, но нестойк к азотной и уксусной кислотам

и гниющим органическим веществам, извести и другим соединениям. Его применяют в электротехнике в качестве оболочки кабеле для защиты последних от воды, для изготовления плавких предохранителей, пластин свинцовых аккумуляторов, защитных экранов в рентгеноустановках и т. д.

Следует помнить, что свинец и его соединения ядовиты.

Олово — мягкий тягучий металл с плотностью $7,3 \text{ кг/дм}^3$ и температурой плавления 232°C (505 K). При обычных условиях олово не окисляется, водостойко, на него очень медленно воздействуют разведенные кислоты. Олово широко применяется для защиты металлов (лужение), входит в состав бронз и сплавов. Тонкая оловянная фольга применяется в производстве конденсаторов.

Серебро — благородный металл, стойкий против окисления при нормальной температуре, имеет плотность $10,5 \text{ кг/дм}^3$, температуру плавления 960°C (1233 K) и наименьшее из металлов удельное сопротивление — $0,0162 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$. Серебро применяется для изготовления контактов, для нанесения на диэлектрики в качестве обкладок в конденсаторах и т. д.

Платина — металл, практически не соединяющийся с кислородом и весьма стойкий к химическим реагентам, прекрасно обрабатывается, технологичен. Из платины получают особо тонкие нити для подвесок подвижных систем в электромерах и других высокочувствительных приборах, а также для изготовления термомпар для измерения высоких температур до 1600°C (1873 K). Платина применяется как основа для контактных сплавов ответственных приборов. Заменителем платины служит в ряде случаев палладий. Кроме того, в электротехнике находят применение такие материалы, как молибден, золото, кобальт, кадмий, индий, галлий и ртуть.

§ 5. Обмоточные провода

При эксплуатации и ремонте электроустановок применяются обмоточные, монтажные и установочные провода и провода специального назначения. Первые используют для изготовления обмоток электрических машин, трансформаторов, приборов и аппаратуры; при помощи вторых осуществляют соединения в различных схемах электрооборудования и электроустройства; третьи используют в качестве нагревательных элементов электроустановок.

Обмоточные провода могут иметь волокнистую изоляцию, эмалевую и комбинированную; их изготавливают из меди и алюминия. В настоящее время распространены следующие марки обмоточных проводов.

А. Провода с волокнистой изоляцией:

ПБО (АПБО), ПБД, ПШД, ПКД, ПЛД — провод медный (алюминиевый), изолированный одним или двумя слоями обмотки из хлопчатобумажной (шелковой, капроновой или лавсановой) пряжи; все эти провода изготавливаются прямоугольного и круглого сечения;

ПБ, ПБУ — изоляция из нескольких слоев телефонной или кабельной (марки КВУ) бумаги; провод круглого сечения или же прямоугольного;

ПББО и ППЛБО — несколько слоев телефонной или кабельной бумаги или три слоя лавсанового полотна и один слой обмотки из хлопчатобумажной пряжи; провод прямоугольного сечения;

ППТБО — два слоя триацетатной пленки, слой телефонной бумаги и один слой обмотки из хлопчатобумажной пряжи; провод прямоугольного сечения.

Все вышеперечисленные провода, кроме провода ПЛД, имеют класс нагревостойкости А. Провод ПЛД имеет класс нагревостойкости Е.

Б. Провода с эмалевой изоляцией:

ПЭЛ — провод медный, изолированный масло- и лакостойкой эмалью; класс нагревостойкости А;

ПЭВ-1, ПЭВ-2, ПЭМ-1 и ПЭМ-2 — провод с высокопрочной эмалью винифлекс или металвин с обычной или утолщенной изоляцией;

ПЭДВ — провод с эмалью типа ПЭВ с дополнительным термопластичным слоем на основе поливинилацетата или поливинилбутираля;

ПЭЛР-1, ПЭЛР-2, ПЭВТЛ-1, ПЭВТЛ-2 — провод с эмалью на полиамидно-резольной или полиуретановой основе; класс нагревостойкости Е;

ПЭТВ, ПЭТВ-939 и ПЭТВТР — провод с эмалью на полиэфирной основе (соответственно лак ПЭ-943 и ПЭ-939) с дополнительным терморезактивным слоем эпоксидной смолы; класс нагревостойкости В;

ПЭТ-155А — эмаль на полиэфирно-имидной основе; класс нагревостойкости F.

ПНЭТ — эмаль на полиимидной основе; допускает нагрев до 200°C (473 К).

Провода с эмалевой изоляцией изготавливаются, как правило, только круглого сечения.

В. Провода с комбинированной изоляцией:

ПЭЛБО, ПЭЛШО, ПЭЛШКО, ПЭЛЛО — эмаль на масляно-смоляной основе с одним слоем обмотки соответственно из хлопчатобумажной пряжи, натурального шелка, капрона или лавсанового волокна;

ПЭВЛО, ПЭТЛО, ПЭПЛО — высокопрочная эмаль соответственно типа винифлекс или металвин, на полиэфирной или полиуретановой основе и один слой обмотки из лавсанового волокна.

Все провода с комбинированной изоляцией изготавливаются круглого сечения и имеют изоляцию класса нагревостойкости А.

Провода с волокнистой изоляцией обладают высокой механической, но недостаточной электрической прочностью, имеют очень значительную толщину изоляции (например, для провода марки ПБД до 0,44 мм на обе стороны) и недостаточную влаго- и хими-

стойкость. Провода с эмалевой изоляцией имеют высокую электрическую прочность и хорошую влаго- и химостойкость при очень малой толщине изоляции (максимально до 0,09 мм). Механическая прочность эмалевой пленки провода ПЭЛ невелика, поэтому провод этой марки применяется только для изготовления обмоток неподвижных катушек. Механическая же прочность эмалевых пленок высокопрочных проводов, особенно марки ПЭТВ и ПЭТ-155, такова, что позволяет с успехом использовать их при изготовлении всыпных обмоток электрических машин мощностью до 100 кВт. Провод ПЭТ-155 находит применение при изготовлении новейшей серии электродвигателей 4А, в том числе и сельскохозяйственного исполнения, и допускает намотку обмотки на станках-автоматах. Как было показано выше, эти провода имеют высокую нагревостойкость — до 155°C (428 К). Провода с комбинированной изоляцией по своим характеристикам занимают промежуточное положение между проводами с волокнистой и эмалевой изоляцией.

Стремление повысить степень использования материалов и надежность электрооборудования привели к разработке не только высокопрочных эмалевых проводов, но и проводов с неорганической асбестовой и стеклянной изоляцией.

Провода с дельта-асбестовой изоляцией имеют марку ПДА. Асбестовая изоляция накладывается подклейкой к медной проволоке с последующей пропиткой и сушкой изоляции. Подклейка осуществляется модифицированными глифталевыми лаками. Провода ПДА изготавливаются круглого и прямоугольного сечения, имеют класс нагревостойкости В. Недостаток проводов ПДА — относительно большая толщина изоляции (до 0,4 мм на обе стороны).

Провода со стекловолоконной изоляцией изготавливают следующих марок:

ПСД (ПСДТ) и ПСДК, ПСДКТ — два слоя стекловолокна с подклейкой и пропиткой каждого слоя нагревостойким лаком, классе нагревостойкости F. Если применен кремнийорганический лак, то класс нагревостойкости H. Нагревостойкость проводов подобного типа повышается, если поверхность медного проводника защищена от окисления гальванически нанесенным слоем никеля толщиной 3...5 мкм (провода марок ПНСДК и ПНСДКТ).

В проводах марки ПОЖ, допускающих длительную эксплуатацию при температуре 300°C (573 К) и кратковременную при 500...600°C (773...873 К), использованы медная никелированная жила, специальное бесщелочное стекловолокно и органосиликатные и цементирующие волокно составы.

Отечественная промышленность выпускает обмоточные провода марок ПЭЖБ, допускающих работу при температуре до 700°C (973 К), с медно-никелевой или серебро-никелевой жилой с тонкослойной эмалевой изоляцией, имеющей поверхностную лакировку органосиликатным составом.

ПНЭТСО, ПЭТКСОТ — слой блок-полимерной кремнийорганической или слой кремнийорганической эмали и один слой утонь-

шенного стекловолокна с пропиткой кремнийорганическим лаком; класс нагревостойкости Н.

Провода со стекловолокнистой изоляцией изготовляют как круглого, так и прямоугольного сечения. В отличие от проводов с асбестоволокном, как правило, провода со стекловолокнистой изоляцией имеют меньшую толщину и большую механическую и электрическую прочность. В электромашиностроении такие провода используются с дополнительной лакировкой и наложенной стекловолокнистой изоляцией — провода ПСД-Л, ПСДК-Л и т. п.

Для трансформаторов больших мощностей применяют транспонированные провода с высокопрочной эмалевой изоляцией отдельных проволок (обычно ПЭМ-2) и общей изоляцией из кабельной бумаги марки К или КВУ — провод ПТБ и провод ПТБУ.

В последнее время в сельском хозяйстве широкое распространение получили погружные электронасосы для добычи воды из артезианских скважин, а также перекачки нефтепродуктов и других жидкостей. Обмотка двигателя такого насоса соприкасается с перекачиваемой жидкостью и подвергается ее воздействию. Для изготовления обмоток таких электродвигателей применяют провода марки ПЭВВП, имеющие семипроволочную или однопроволочную жилу, состоящую из медных эмалированных лаком винифлекс проводников (провод марки ПЭВ-2), поверх которой наложен изоляционный поливинилхлоридный пластикат. Провода марки ПЭВВП разработаны с учетом возможности изготовления обмоток статоров погружных электродвигателей методом протяжки и предназначены для работы непосредственно в воде при рабочем напряжении 380 В и температуре 70°C (343 К). Для крупных погружных электродвигателей мощностью 250 и 500 кВт напряжением до 3000 В применяются обмоточные провода марки ППВП с двухслойной полиэтиленовой изоляцией. Для погружных электродвигателей, полость которых в период работы заполняется трансформаторным маслом, в последнее время стали применять провода ПЭТВПДЛ-3 и ПЭТВПДЛ-4, изолированные полиэтилентерефталатной эмалью, поверх которой нанесено три или четыре слоя лавсановой пленки и два слоя шелка лавсан, подклеенных лаком на основе смолы ТФ-60.

В последнее время все более находят применение эмалированные провода прямоугольного сечения с изоляцией различного типа марок ПЭВП, ПЭТВП, ПНЭТН, а также эмалированные провода с алюминиевой проволокой марок ПЭТВА и ПЭТВА-939. Провода прямоугольного сечения применяются в трансформаторостроении.

Эти провода удобны для транспонирования. В высокочастотной технике применяются провода марок ЛЭШО, ЛЭШД, ЛЭЛО и ЛЭЛД с эмалевой изоляцией и одним или двумя слоями натурального шелка или лавсанового волокна соответственно. ЛЭП и ЛЭПКО — провода, скрученные из медных проволок, эмалированных полиуретановым лаком.

ЛЭТЛОП, ЛЭТСОП — прямоугольный провод, отдельные никелированные проволоки которого изолированы полиэфирной эмалью (полиэфирноимидной), скручены и оплетены лавсановым (стекло-) волокном с последующей пропиткой кремнийорганическим лаком. Этот провод относится к классу нагревостойкости В(Ф).

Сечение круглых проводов составляет до $1,375 \text{ мм}^2$, а прямоугольных достигает $20,0 \text{ мм}^2$.

§ 6. Установочные и монтажные провода и кабели

К установочным и монтажным проводам и кабелям относятся изолированные провода (жилы) и шнуры, предназначенные для передачи электроэнергии. Их применяют при монтаже внутренних проводов и силовых токоприемников в сельскохозяйственном производстве.

Шнуры и кабели — одна или несколько скрученных между собой изолированных жил, обладающих определенной гибкостью, или же несколько таких жил, заключенных в общую герметическую оболочку из резины, пластмассы или металла.

В производстве наиболее распространены провода и шнуры* следующих марок:

ПР, АПР — шнур в пропитанной оплетке, на напряжение до 500 В, сечением $0,75...400 \text{ мм}^2$ для медных и $2,5...400 \text{ мм}^2$ для алюминиевых проводов. Применяется для неподвижной прокладки в сухих, жарких и пыльных помещениях, на роликах, в трубах и трубах. Изготавливается и на напряжение 3000 В (медный) сечением $1,5...185 \text{ мм}^2$. Для этих марок обычно в их обозначении указано напряжение, например, ПР-500;

ПРКС, ПРБС — то же, но с резиновой теплостойкой изоляцией сечением $0,75...2,5 \text{ мм}^2$;

ПРГ и ПРГ-500 — то же, но гибкий, применяется на те же напряжения для соединения подвижных частей электрических машин и аппаратов в сухих и сырых помещениях в стальных трубах соответственно сечением $0,75...240 \text{ мм}^2$, $6...35 \text{ мм}^2$;

ПРД — двухжильный неоплетанный, на напряжение 380 В, сечением $0,5...6 \text{ мм}^2$, для неподвижной прокладки на роликах в сухих помещениях;

АР (АРД) — шнур арматурный, медный, одножильный (двухжильный) в неоплетанной оплетке для арматуры на напряжение 220 В, сечением $0,5...0,75 \text{ мм}^2$, для зарядки и прокладки поверх осевой арматуры в сухих помещениях;

ПРП (ПРШП) — шнур в защитной оплетке из стальной проволоки (панцирный) до 500 В, одно-, двух- и трехжильный сечением $1...95 \text{ мм}^2$, для неподвижной прокладки;

* Провода с алюминиевыми жилами имеют в обозначении марки букву А (первая), а буква Р в обозначении марки указывает на резиновую изоляцию.

ПРТО, АПРТО — шнур в пропитанной оплетке для прокладки в трубах, до 2000 В, одножильный сечением 1...500 мм², двух-, трех- и четырехжильный сечением 1...120 мм², обычно напряжение провода указано в марке, например ПРТО-500;

ППВ, АППВ (ППВС и АППВС) — шнур с полихлорвиниловой изоляцией, плоский, с разъединяющей перемычкой между жилами (без нее), до 500 В, двух- и трехжильный сечением 2,5...6 мм², для неподвижной открытой прокладки в сухих и сырых помещениях (для скрытой прокладки под штукатуркой);

ПВ, АПВ, ПГВ — шнур одножильный, с полихлорвиниловой изоляцией (гибкий), до 500 В, сечением 2,5...120 мм², для прокладки в трубах и пустотных каналах несгораемых строительных конструкций, по машинам и станкам;

АПН — шнур в найритовой резиновой изоляции, до 500 В, одно-, двух- и трехжильный сечением 2,5...6 мм², для неподвижной открытой прокладки в сухих и сырых помещениях.

АПРВ — шнур в полихлорвиниловой оболочке, 500 В, сечением 2,5...6 мм², для неподвижной прокладки в сухих, жарких и пыльных помещениях, на роликах, клицах, в трубах и трубках;

АТРГ — шнур с найритовой резиновой изоляцией, тросовый, 500 В, трех- и четырехжильный сечением 4...35 мм², для открытой прокладки в качестве магистральных линий осветительных и силовых токоприемников;

АППР — шнур, не распространяющий горения, 380 В, одно- и двухжильный сечением 2,5...10 мм².

В сельском хозяйстве наиболее распространены кабели следующих марок:

ШРПЛ (ШРПС) — провод (кабель) шланговый, с резиновой изоляцией, переносный, двухжильный (в более прочном шланге) сечением 0,5; 1; 1,5 мм², трех- и четырехжильный сечением 0,75...4 мм²;

КРПТ (АКРПТ) — кабель переносный тяжелый, с резиновой изоляцией в шланговой оболочке, 500 В, одно-, двух-, трех- и четырехжильный сечением 2,5...70 мм² (16...95 мм²);

ВРГ, АВРГ (НРГ, АНРГ) — кабель в полихлорвиниловой (В) или негорючей (найритовой) оболочке на напряжение 500 В, с одной, двумя и тремя медными жилами сечением 1...240 мм² (медный) и 4...185 мм² (алюминиевый). Эти кабели могут быть и в бронированном исполнении (ВРБ, АВРБ и т. п.);

АВВ (АВП) — кабель с алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной (полиэтиленовой) изоляцией, в поливинилхлоридной оболочке, имеет от 2 до 7 жил сечением 2,5...50 мм² (16...50 мм²);

АВБВ — кабель с алюминиевыми жилами с поливинилхлоридной изоляцией, в поливинилхлоридной оболочке, бронирован двумя стальными лентами в поливинилхлоридной наружной оболочке, имеет 2, 3, 4 жилы сечением 2,5...120 мм².

Монтажные провода. В электротехнике наибольшее применение находят следующие монтажные провода:

МШДЛ (МЭШДЛ) — однопроволочный (эмалированный) двойной обмоткой из полиамидного шелка, напряжение 220 В; МГШ, МГШД, МГШДО, МГШДОП, МГШДЛ, МГЦШ, МГСЛ, МГСЛЭ, МГЦСЛ и МГЦСЛЭ — соответственно многопроволочный в оплетке (24 В), дополнительно с двойной обмоткой (60 В), с двойной обмоткой и оплеткой, обмоткой и подклеенной оплеткой (127 В), с двойной обмоткой лакированный (220 В) с пленочной изоляцией с двойной обмоткой и подклеенной оплеткой (220 В), в обмотке и оплетке из стекловолокна, лакированный и экранированный (127 В), то же, с пленочной изоляцией в обмотке и оплетке из стекловолокна (220 В). Жилы указанных проводов имеют сечение от 0,05 до 6,0 мм² при максимальном наружном диаметре провода от 0,6 до 5,0 мм. Согласно ГОСТ 10349—73 нормировано сопротивление проводов постоянному току. Нормируются также сопротивление изоляции проводов и испытательные напряжения образцов. Указанные провода могут работать при температуре от -60 до 105°С (от 213 до 373 К) и относительной влажности от 65 до 95%.

При возможной конденсации водяных паров (но при температурах от -50 до +85°С или от 223 до 358 К) используются следующие монтажные провода с пластмассовой и резиновой изоляцией:

МШВ, МНШВ, МГШВЭ и МГШВЭВ — с одно- и многопроволочными жилами, с обмоткой триацетатным волокном и поливинилхлоридной изоляцией, экранированные в защитной поливинилхлоридной оболочке;

МШП, МГШП, МГШПЭ, МГСП и МГСПЭ — то же, с изоляцией из полиэтилена с предварительной обработкой жилы триацетатным шелком, или волокном лавсана, или стекловолокном.

Для общепромышленного применения наибольшее распространение получили монтажные провода с одной поливинилхлоридной и частично с полиэтиленовой изоляцией на напряжение до 500 и 1000 В и частоту 50 Гц при температурах от -40 до +70°С (233...343 К) — марки ПВ-500, ПВ-1000, ПВЭ-500 (экранированный) и ПВЭ-1000. При наличии защитной оболочки из капрона в обозначении марки добавляется буква К, например ПВК-500 и т. п. Провода с полиэтиленовой изоляцией изготавливаются на напряжение до 500 В для эксплуатации при температурах от -40 до +85°С (233...358 К). Их марки: ПП-500, ППЭ-500 — экранированные и ППКЭ-500 — с защитной капроновой оболочкой.

Эти провода могут быть одножильными сечением от 0,08 до 2,5 мм², двух- и трехжильными сечением до 1,0 мм².

Монтажные провода повышенной нагревостойкости имеют медные никелированные или посеребренные жилы, изолированные обмоткой лентами из фторопласта-4 с последующей термообработкой, а затем оплеткой стекловолокном с пропиткой кремнийорганическим лаком (провода марки ТМ-250 сечением 0,35...6,0 мм²) или покрытием лавсановым волокном (ПТЛУ-200 и др. сечением 0,35...1,5 мм²).

Провода марки РКГМ из кремнийорганической резины имеют сечение токопроводящих жил от 0,75 до 6,0 мм² и допустимый длительный нагрев до 180°C.

§ 7. Провода специального назначения

Провода марки ПЭВТЛК с двойной упроченной эмалевой изоляцией на основе полиуретановых и полиамидных смол предназначены для прошивки матриц запоминающих устройств, а также для изготовления обмоток электрических машин, приборов, аппаратов. Отличаются высокой механической прочностью изоляции. Рабочая температура от -60 до +120°C (от 213 до 393 К); класс нагревостойкости изоляции Е. Диаметр проводов 0,06...0,35 мм; минимальная толщина изоляции 0,025...0,05 мм.

В низкотемпературных процессах сельскохозяйственного производства (теплицы и животноводческие помещения) находят применение специально выпускаемые промышленностью для этих целей нагревательные провода типа ПОСХВ и ПОСХВТ — провод обогревательный сельскохозяйственный с полихлорвиниловой или полиэтиленовой изоляцией. Они имеют стальную оцинкованную жилу диаметром 0,85...1,2 мм (телеграфная катанка) и допускаемую рабочую температуру жилы соответственно до 60, 90°C (333, 363 К) и 105°C (378 К).

Промышленность выпускает также аналогичные по техническим данным провода марок ПОСХБ, ПОСХВП, ПОСХВН.

Нагревательные кабели в отличие от проводов могут иметь до трех жил из нихрома или константана. Жилы изолируются асбестом, силиконом и другими теплостойкими материалами. Кабель имеет оболочку из свинца, меди, алюминия или мягкой нержавеющей стали. Кабели допускают большие токовые нагрузки и рабочие температуры до 400°C (673 К).

Глава III

МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Классификация магнитных материалов

Магнитные материалы находят самое широкое распространение в электротехнике, без них в настоящее время немыслимы электрические машины, трансформаторы, электронизмерительные приборы.

В зависимости от применения к магнитным материалам предъявляются различные, подчас противоположные, требования. По признаку применения магнитные материалы классифицируются на две большие группы:

- 1) магнитомягкие;
- 2) магнитотвердые.

Рассмотрим кратко их характеристики.

§ 2. Магнитомягкие материалы

Магнитомягкие материалы применяются в качестве магнитопроводов электрических машин, аппаратов и приборов, и поэтому они должны обладать наибольшей магнитной проницаемостью иметь наибольшую индукцию при наименьшей затрате энергии.

Магнитомягкие материалы, работающие в переменных магнитных полях, для уменьшения потерь на вихревые токи выполняются из отдельных листов или мелкого порошка с изоляцией между ними. Для увеличения электрического сопротивления в магнитомягкие материалы, кроме того, вводят необходимые присадки. К магнитомягким материалам относятся железо и его сплавы и электро-техническая сталь.

Железо по своим свойствам делится на особо чистое — получаемое обычно электролитическим путем и почти не имеющее примесей, и техническое железо — с содержанием примесей 0,1... 0,2%. Примеси в железе значительно ухудшают его магнитные свойства. Железо имеет низкое электрическое сопротивление и поэтому находит относительно редкое применение, в основном для магнитопроводов постоянного магнитного потока. Особо чистое железо широко применяется для изготовления магнитодиэлектриков — высокочастотных сердечников, спрессованных из мелкоизмельченного железного порошка с электроизолирующей связкой.

Листовая электротехническая сталь — наиболее распространенный (основной) материал, используемый в электромашиностроении. Для увеличения электрического сопротивления листовой стали в ее состав вводится кремний. Введение кремния в сталь приводит к уменьшению потерь от вихревых токов, вызывает раскисление стали, выделение углерода в виде графита, вследствие чего увеличивается начальная магнитная проницаемость (при некотором снижении максимальной), снижается коэрцитивная сила, уменьшаются потери на гистерезис, старение стали.

Листовая электротехническая сталь по ГОСТ 21427.0—75 разделяется на 34 марки. При этом марки горячекатаной стали классифицируются на 4 большие группы: Э1, Э2, Э3 и Э4. Обозначение Э означает название стали — электротехническая. Цифры 1, 2, 3 и 4 означают степень легированности стали, то есть примерное (среднее) содержание кремния в стали. Вторые цифры в обозначении (3) удельные потери при частоте тока 50 Гц; цифра 4 — нормальная удельные потери при частоте тока 400 Гц; цифры 5 и 6 — нормальная удельные потери в слабых полях (от 0,2 до 0,8 А/м); цифры 7 и 8 — нормальную (7) и повышенную (8) магнитную проницаемость в полях от 3 до 1000 А/м; цифра 0 означает текстурованную холоднокатаную сталь высокой проницаемости, а 00 — холоднокатаную малотекстурованную сталь.

В технике сталь Э1 называется динамной и из-за малой своей легированности применяется для изготовления якорей и полю-

сов машин постоянного тока; Э2 и Э3 — среднелегированной и применяется для изготовления сердечников машин переменного тока. Сталь Э4 сильно легирована и применяется для изготовления сердечников трансформаторов. Значительная хрупкость не позволила применять ее при изготовлении сердечников электрических машин. Легирование стали кремнием увеличивает электрическое сопротивление примерно пропорционально содержанию кремния. Так, для Э4 удельное электрическое сопротивление более чем в 6 раз выше удельного сопротивления нелегированной стали. Удельный вес стали с повышением легированности несколько уменьшается (с 7,8 до 7,55).

Электротехническую сталь изготавливают в виде листов толщиной 0,1; 0,2; 0,35; 0,5 и 1,0 мм.

Магнитные свойства стали характеризуются известными кривыми намагничивания, полученными опытным путем. В практических расчетах для удобства их представляют в виде таблиц. Также опытным путем определяют удельные потери мощности (мощность потерь) на гистерезис и вихревые токи — потери в 1 кг стали при частоте тока 50 Гц и определенном значении синусоидально изменяющейся во времени магнитной индукции. Эти данные тоже сводят в таблицы.

В последнее время большое распространение получила текстурованная холоднокатаная сталь высокой проницаемости. В настоящее время магнитопроводы всех трансформаторов, включая и трансформаторы малой мощности, изготавливают из холоднокатаной стали. Холоднокатаная малотекстурованная сталь нашла также применение в электромашиностроении, в частности при изготовлении асинхронных двигателей последней новой серии 4А.

Такое распространение холоднокатаной стали объясняется ее высокими магнитными свойствами, которые в несколько раз выше свойств лучших сортов наиболее высоколегированной трансформаторной стали.

Применение текстурованной холоднокатаной стали в средних и мощных трансформаторах позволяет уменьшить их массу и габаритные размеры примерно на 20... 25%, а в радиотрансформаторах даже до 40%.

Холоднокатаная сталь имеет заметно выраженную анизотропию: ее магнитные свойства вдоль прокатки лучше, чем поперек. Учитывая это, необходимо шихтовать магнитопроводы так, чтобы на всем пути прохождения магнитного потока его направление совпадало с направлением прокатки.

Особо высокий эффект от применения текстурованной холоднокатаной стали получается при изготовлении так называемых витых сердечников трансформаторов. Изготовление таких сердечников освоено отечественными заводами применительно как к трансформаторам тока, так и к силовым трансформаторам.

Сплавы железа применяют в электротехнике для получения высоких значений магнитной индукции и проницаемости и малой

коэрцитивной силы. Это сплавы железа с никелем — пермаллой гипермы, с алюминием и кремнием — альсиферы и с кобальтом — пермендьюры. Эти сплавы характеризуются начальной проницаемостью в 20 000...30 000 Гн/м, максимальной — до 200 000 Гн/м и коэрцитивной силой — до 0,02 Э.

Перечисленные сплавы широко используются для изготовления сердечников радиотрансформаторов, реле, магнитных экранов приборов, кабелей и т. д.

Специальные магнитомягкие сплавы — это термомагнитные сплавы с почти постоянной магнитной проницаемостью и с резкой зависимостью магнитной проницаемости от температуры.

Первую группу составляют сплавы железа с никелем и кобальтом — перминвары. Они имеют малую коэрцитивную силу и проницаемость, равную 300 Гн/м, значение которой сохраняется в интервале напряженности до 3 Э при индукции 0,1 Т. Но сплав недостаточно стабилен в магнитном отношении и чувствителен к колебаниям температуры и механическим напряжениям.

Более магнитоустойчивыми являются сплавы железа с никелем и алюминием и железа с никелем и медью — изопермы. Они получили широкое распространение в радиоаппаратуре, приборах, автоматике.

Вторую группу составляют сплавы никеля с медью — кальмаллой, железа с никелем — термаллой и железа с никелем и хромом — компенсаторы. Эти сплавы применяются для компенсации температурной погрешности, вызываемой изменением индукции постоянных магнитов или сопротивления проводов в магнитоэлектрических приборах по сравнению с теми значениями, при которых проводилась градуировка. Они нашли применение для изготовления магнитных шунтов в приборах.

Немагнитные стали и чугуны применяются для изготовления бандажей роторов генераторов, бандажной проволоки, валов специальных машин, болтов для креплений. Устойчивые немагнитные свойства стали и чугуна достигаются путем присадок к железу никеля или марганца. Благодаря присадкам электрическое сопротивление сплавов оказывается значительным и потери на вихревые токи при работе этих сплавов в переменных магнитных полях — малыми. В настоящее время разработаны и другие немагнитные сплавы, не содержащие дорогостоящего никеля.

§ 3. Магнитотвердые материалы

В отличие от магнитомягких материалов магнитотвердые материалы должны обладать как можно большей коэрцитивной силой, поскольку их основное применение — изготовление постоянных магнитов.

Установлено, что проницаемость этих материалов невелика и тем меньше, чем выше коэрцитивная сила.

Важнейшей характеристикой материала для постоянных магни-

тов является энергия, отдаваемая магнитом во внешнюю среду. Эта энергия пропорциональна произведению магнитной индукции и напряженности в воздушном зазоре магнита. Для изготовления неответственных постоянных магнитов наибольшее применение находит обычная закаленная углеродистая сталь (структура мартенсит). Эта сталь обладает остаточной магнитной индукцией 0,8... 0,9 Т и коэрцитивной силой 50... 60 Э. Однако сталь нестабильна против механических воздействий, для повышения стабильности в нее вводят добавки: вольфрам, хром, молибден, кобальт. Легированные стали при остаточной магнитной индукции 0,8... 0,9 Т имеют коэрцитивную силу 90... 220 Э и в 2... 3 раза большую магнитную энергию, чем обычная углеродистая сталь.

Сплав железа с алюминием и никелем — альни при остаточной магнитной индукции 0,55 Т имеет коэрцитивную силу 550 Э и в 4,5 раза большую магнитную энергию по сравнению с углеродистой сталью. Свойства сплава улучшаются при добавке к нему кремния — альниси или кобальта — альнико. А сплав альнико с добавкой меди — магнико обладает магнитной энергией, примерно в 15 раз большей, чем энергия углеродистой стали. Сплавы альнико сохраняют стабильность своих свойств под воздействием нагрева, механических ударов и внешних размгничивающих полей лучше, чем кобальтовые и вольфрамовые.

Магниты из сплава магнико легкие, при равной магнитной энергии они в 4 раза легче магнитов из сплава альни и в 22 раза легче магнитов из хромистой стали.

Рекордные значения коэрцитивной силы и магнитной энергии получают, добавляя к сплавам платину.

Глава IV

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

§ 1. Общие положения

К полупроводниковым относятся материалы, имеющие, как металлы, электронную проводимость, но отличающиеся от них своими особенностями. По значению электропроводности они занимают промежуточное положение между диэлектриками и проводниками; их удельная проводимость равна $10^{-1} \dots 10^{-8} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ и значительно зависит от примесей. Температурный коэффициент у полупроводников в большинстве случаев отрицателен, но может быть и положительным, а у металлов (проводников) он положителен. К полупроводниковым материалам относятся селен, кремний, германий, а также обширный класс окислов, сульфидов и карбидов металлов.

Полупроводниковые системы могут быть использованы для преобразования различных видов энергии в энергию электрического тока — солнечные батареи, термоэлектрические генераторы и т. п. При помощи полупроводников можно получить охлаждающие

установки, нагревательные элементы, измерить напряженность магнитного поля (преобразователи Холла).

Управляемость электропроводностью полупроводников посредством температуры, света, электрического поля, механических усилий положена в основу принципа действия соответственно терморезисторов (термисторов), фоторезисторов, нелинейных резисторов (варисторов), тензорезисторов и т. д. Полупроводниковым приборам присущ ряд достоинств: большой срок службы, малые габариты и масса, простота и надежность конструкции, большая механическая прочность (не бояться тряски и ударов) отсутствие цепей накала, малое потребление мощности, малая инерционность и экономичность при массовом производстве.

Развитие электроники привело к созданию узлов электронной аппаратуры и схем устройств и приборов в целом — микроэлектроники. Появились сложнейшие кибернетические системы, используемые в народном хозяйстве, в освоении космоса, при исследованиях в области биологии и медицины. Происходит дальнейшее уменьшение размеров и массы электронной аппаратуры, увеличение плотности монтажа при повышении надежности и долговечности, сокращается потребность в материалах, трудоемкости и капитальных вложениях.

Кратко рассмотрим характеристики некоторых наиболее распространенных полупроводниковых элементов и их применение в электромашиностроении.

§ 2. Полупроводниковые элементы и выпрямители

Полупроводниковые сухие выпрямители переменного тока выполняются, как правило, селеновыми, кремниевыми и германиевыми.

Селеновые выпрямители имеют плотность тока $0,2...0,3 \text{ А/см}^2$; эффективное напряжение на пластину $16...18 \text{ В}$, к. п. д. до 90% , (10 000 ч и более). Селен нашел продолжительный срок службы выпрямителей, зарядки аккумуляторов, питания цепей возбуждения синхронных машин и изготовления фотоэлементов.

Кремниевые и германиевые выпрямители наиболее совершенны, они выпускаются на плотность тока до 100 А/см^2 , обратное напряжение их достигает $220...300 \text{ В}$, к. п. д. $97...98\%$, масса в десятки раз меньше массы селеновых выпрямителей.

Промышленность выпускает на основе кремния полупроводниковые диоды, транзисторы, фотоэлементы, тензопреобразователи и твердые схемы микроэлектроники. Рабочая температура приборов на кремниевой основе может составлять $120...200^\circ\text{C}$ ($393...473 \text{ К}$).

Германий применяется для изготовления выпрямителей переменного тока различной мощности, транзисторов разных типов, преобразователей Холла и др. Рабочий диапазон температур германиевых приборов от -60 до $+70^\circ\text{C}$ (от 213 до 343 К).

§ 3. Термисторы. Варисторы. Фотосопротивления

Полупроводниковые соединения могут обладать самыми разнообразными электрофизическими свойствами. К этим соединениям относятся карбид кремния, фосфиды, антимониды, сульфиды, окислы (закись меди, например), полупроводниковые материалы сложного состава. Эти материалы служат основой для изготовления термисторов (термосопротивлений), варисторов, фотосопротивлений.

Термисторы (термосопротивления) резко изменяют удельное сопротивление при изменении температуры. Термисторы из окиси меди, окиси цинка, сернистого серебра, окислов титана, магния и т. п. имеют большой отрицательный температурный коэффициент.

Термисторы применяются в различных схемах автоматики, могут быть использованы для температурной компенсации, могут служить ограничителями пускового тока и т. д.

В настоящее время электропромышленность выпускает электродвигатели специальной серии (СХТЗ) с встроенной температурной защитой типа УВТЗ, в которой в качестве датчика использован термистор.

Карбид кремния служит, например, для изготовления варисторов, но они нестабильны, боятся тряски и ударов. Поэтому их выпускают с глинистой связкой — тириты и со стеклянкой — вилиты.

Варисторы (нелинейные сопротивления) обладают способностью изменить удельное сопротивление в зависимости от напряжения. Например, упомянутые тиритовые и вилитовые элементы резко увеличивают электропроводность при перенапряжениях на линии электропередачи и заземляют ее, а после окончания перенапряжения вилит восстанавливает свое сопротивление, гасит сопровождающий ток и линия остается в работе.

Фотосопротивления (фоторезисторы), изготовленные из сернистых соединений металлов, селена, кремния, германия, арсенида галлия, антимонида индия, сернистого висмута, кадмия и т. п., изменяют свою электропроводность в зависимости от степени освещенности и широко используются в различных схемах автоматики, например, на птицефабриках. Номенклатура изготавливаемых фоторезисторов широка: фотоэлементы, дозиметры рентгеновского излучения, полупроводниковые лазеры, преобразователи Холла и т. д.

Фоторезисторы применяются для подсчета деталей в конвейерном производстве, для контроля уровня жидких и сыпучих тел, для обработки деталей по чертежу в фотокопировальных станках, для сигнализации о появлении дыма, в станках с программным управлением и т. д.

Фоторезисторы могут включаться непосредственно в осветительную сеть переменного и постоянного тока; срок службы их не менее 10 000 ч.

§ 4. Электроугольные изделия

В основе этих электротехнических изделий лежат графит и уголь — разновидности почти чистого углерода. Углерод является полупроводником, графит и уголь по проводимости приближаются к металлам и их сплавам. Из электротехнических углей изготавливают щетки для электрических машин, непроволочные сопротивления, угольные электроды для электрических печей, сварки электротехнических ванн, осветительные угли, микрофонные порошки, мембраны, части гальванических элементов, детали электровакуумных приборов (аноды, сетки).

Щетки отличаются друг от друга составом и технологией изготовления, они характеризуются значением удельного электрического сопротивления, допустимой плотностью тока, линейной скоростью коллектора, коэффициентом трения, твердостью и т. п.

Различают щетки угольно-графитовые (обозначения Т и УГ), графитовые (обозначение Г), электрографитированные, то есть подвергнутые термической обработке — графитированию (обозначение ЭГ), медно-графитовые (с содержанием металлической меди, обозначение М и МГ) и бронзографитовые (обозначение БГ).

Щетки с содержанием меди и бронзы обладают особо малым электрическим сопротивлением и дают незначительное контактное падение напряжения (между щеткой и коллектором).

Основные характеристики щеток приведены в разделе «Ремонт электрооборудования». Непроволочные сопротивления находят широкое распространение в радио- и измерительной технике и в некоторых специальных областях электротехники. Они должны иметь малую зависимость от напряжения и отличаться высокой стабильностью при воздействии температуры и влажности. В радиопро-

1) лакопленочные, опрессованные в пластмассу. Их изготавливают путем нанесения на тонкую стеклянную трубку суспензии сажи и графита в масляном лаке. После монтажа выводных проводников, соединяемых с проводящей лаковой пленкой специальной про-водящей пастой, их опрессовывают пластмассой типа фенoplast. Такие сопротивления имеют большой температурный коэффициент, недостаточную влажостойкость и стабильность;

2) углеродистые поверхностные сопротивления, получаемые путем осаждения углерода на поверхности керамических стержней при разложении углеродных паров в условиях высокой температуры и отсутствия кислорода. Для регулировки сопротивления элементарно (стержня) на поверхности проводящего слоя прорезают спиральных повреждений элемент защищают лаковым покрытием; или керамической основах. Изготовленные на органической основе перед поверхностными преимущественно объемных сопротивлений кратковременные перегрузки. — способность лучше выдерживать

Раздел второй

МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Глава I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭЛЕКТРОМОНТАЖА

§ 1. Общие требования при проведении электромонтажных работ

Электромонтажные работы должны выполняться согласно требованиям СНиП III-33—76 «Электротехнические устройства», СНиП III-A-11—62 «Техника безопасности в строительстве», СНиП III-A-1—62 «Организация и технология строительного производства. Общая часть», СНиП III-A-3—66 «Нормы продолжительности строительства предприятий, очередей, пусковых комплексов, цехов, производств, установок, зданий и сооружений», СНиП III-A-10—66 «Приемка в эксплуатацию законченных строительством предприятий, зданий и сооружений. Основные положения». Проекты на электромонтажные работы выполняют в соответствии с «Правилами устройства электроустановок», согласуют и утверждают в установленном порядке, а также в соответствии с действующими правилами техники безопасности, охраны труда, правилами противопожарной безопасности, ведомственными инструктивными указаниями, монтажными инструкциями заводов — изготовителей оборудования.

К производству электромонтажных работ на объектах строительства разрешается приступить при наличии технической документации, разработанной в соответствии с главой СНиП III-33—76 и «Инструкциями по разработке проектов и смет» СН 202—62.

Специальные виды работ, требующие особой подготовки персонала, например сварочные работы, работы протехническим монтажным инструментом, такелажные работы и т. п., могут выполнять только лица, допущенные к их проведению, изучившие соответствующие технические условия, технологические правила и правила техники безопасности, относящиеся к выполняемой работе. Эти лица должны иметь удостоверение на право выполнения указанных работ и о прохождении проверки знаний по технике безопасности.

§ 2. Классификация электроустановок, помещений и электрооборудования

Электроустановками называются устройства, в которых производится, преобразуется, распределяется и потребляется электрическая энергия.

По напряжению различают электроустановки до 1000 В и свыше 1000 В. По расположению электроустановки делят на открытые или наружные и закрытые или внутренние. Установки, защищенные сетками или навесами, рассматривают как наружные.

В отношении опасности поражения людей и животных электрическим током помещения с электроустановками делятся на следующие категории.

1. Помещения с повышенной опасностью характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- а) сырости или проводящей пыли;
- б) токопроводящих полов;
- в) высокой температуры;
- г) возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования — с другой.

2. Особо опасные помещения характеризуются наличием одного из следующих условий:

- а) особой сырости;
- б) химически активной среды;
- в) одновременного наличия двух или более условий повышенной опасности.

3. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную и особую опасность.

По условиям окружающей среды помещения, в которых располагаются электроустановки, делятся на следующие категории.

1. Сухие помещения (относительная влажность не превышает 60%). Это отапливаемые помещения обслуживающего персонала, общежития, отапливаемые склады, подсобные помещения в ремонтно-механических мастерских.

2. Пыльные помещения выделяется пыль в таком количестве, что может вызвать взрыв в них. Пыль в проводах, проникает внутрь помещений для дробления сухих концентратов, комбикормовых заводов, склады цемента и др. горючих материалов.

3. Влажные помещения влага выделяется лишь временно, относительная влажность более 60%, но не более 75% (зале, столовых, лестничные клетки, кухни жилых помещений, неотапливаемых складов и т. п.).

4. Сырые помещения (относительная влажность длительно превышает 75%) — овощехранилища, доильные залы, молочные кухни общественных столовых и т. п., а также, при наличии устойчивого микроклимата, коровники, телятники, свиноводческие, птичники и другие животноводческие помещения.

5. Особо сырые помещения (относительная влажность воздуха близка к 100%, потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой) — моечные в мастерских, кормоцеха для приготовления влажных кормов, теплицы, парники, а также наружные установки под навесами.

6. Особо сырые помещения с химически активной средой (при относительной влажности воздуха, близкой к 100%, постоянно или длительно в помещении содержатся пары аммиака, сероводорода и других газов взрывоопасной концентрации или же образуются отложения, действующие разъедающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования). Это склады минеральных удобрений, животноводческие помещения при отсутствии в них установок по созданию микроклимата.

7. Пожароопасные помещения класса П I, например склады минеральных масел. То же, класса П II, например деревообделочные цехи, зернохранилища. То же, класса П IIIа — склады для хранения горючих материалов, животноводческие помещения при хранении на чердаках сена и соломы.

8. Взрывоопасные помещения — аккумуляторные, хранилища нефтепродуктов и т. п.

По возгораемости строительных материалов конструкции зданий и поверхностей помещений делятся на следующие группы.

1. Несгораемые конструкции, под воздействием огня или высокой температуры они не воспламеняются, не тлеют и не обугливаются.

2. Трудносгораемые конструкции под воздействием огня или высокой температуры с трудом воспламеняются, тлеют или обугливаются и продолжают гореть или тлеть только при наличии источника огня.

3. Сгораемые конструкции под воздействием высокой температуры воспламеняются и продолжают гореть или тлеть после удаления источника огня.

По способу хранения электрооборудование делится на следующие группы.

1. Электрооборудование, не требующее защиты от атмосферных осадков, подлежит хранению на открытых площадках и эстакадах.

2. Электрооборудование, требующее защиты от прямого попадания атмосферных осадков и нечувствительное к температурным колебаниям, подлежит хранению в полуоткрытых складах под общими или индивидуальными навесами.

3. Электрооборудование и электроконструкции, требующие защиты от атмосферных осадков и сырости и малочувствительные к температурным колебаниям, а также все мелкие детали подлежат хранению в закрытых утепленных складах.

4. Приборы и ответственные механизмы, чувствительные к температурным колебаниям, подлежат хранению в закрытых утепленных складах.

§ 3. Требования к зданиям и сооружениям, принимаемым под монтаж электрооборудования

До начала электромонтажных работ строительной организацией должны быть выполнены следующие работы:

возведены необходимые временные сооружения, производственные и бытовые помещения;

положены постоянные или временные сети, подводящие электроэнергию, воду и прочее;

сооружены санитарно-технические устройства (отопление, вентиляция).

При приемке готовых помещений под монтаж электрооборудования проверяют соответствие их проектным размерам, схемам расположения закладных деталей, наличие отверстий и проемов.

Объекты электроснабжения (подстанции, помещения силовых сборок, кабельные каналы) нужно строить и монтировать с опережением сроков сооружения других объектов строительства.

Помещения для ведения электромонтажных работ должны быть доведены до состояния, обеспечивающего нормальное и безопасное ведение электромонтажа, защиту монтируемого оборудования от влияния атмосферных осадков, загрязнений, случайных повреждений при проведении дальнейших строительно-отделочных, санитарно-технических и других работ.

Помещения должны быть освобождены от опалубки, лесов и очищены от строительного мусора.

По мере завершения электромонтажных работ строительные организации должны выполнять все строительно-отделочные работы, связанные с проведением электромонтажных работ (заделка отверстий в перекрытиях, стенах, фундаментах под оборудование).

§ 4. Инструменты, применяемые при монтаже электрооборудования

Номенклатура и количество инструментов определяются объемом и характером электромонтажных работ, а также численностью работающих.

Общее руководство и контроль за инструментальным хозяйством осуществляют главные механики и главные технологи монтажных организаций.

Современная организация инструментального хозяйства основана на обеспечении каждого рабочего или бригады в целом наборами инструментов, достаточными для выполнения массовых работ соответствующего профиля.

Инструменты, при помощи которых выполняют монтажные работы, делят на следующие группы:

1) разметочные, контрольные и измерительные (шнур, отвес, уровень, метр, штангенциркуль, микрометр, указатель напряжения, манометр, вальтметр и другие измерительные приборы);

2) слесарно-монтажные;
3) индивидуальные и бригадные монтерские инструменты (отвертка, нож, плоскогубцы, инструменты для снятия изоляции, опрессовки, сварки проводов);

4) механизированные и специальные.

Основными инструментами, используемыми при монтаже электрооборудования, являются следующие:

плоскогубцы комбинированные длиной 125, 150, 175, 200 мм, предназначенные для захвата и зажима круглых деталей и для откусывания проволоки;

отвертки общего назначения с диэлектрической ручкой (тип В) длиной 150, 175, 200, 250 мм;

молотки с квадратным бойком (тип Б) массой 50, 100, 200 г для инструментальных работ, массой 400, 500, 600 г для слесарно-монтажных работ;

ручные ножницы длиной 200, 250, 320, 360, 400 мм для разрезания листового металла толщиной до 1 мм;

ножницы рычажные РН-1 для ручной резки листовой стали толщиной до 3 мм;

ножницы секторные НУСК-120 для перерезания проводов и небронированных кабелей с жилами сечением до 120 мм², масса 0,35 кг (рис. 13);

ножницы секторные усиленные НБК-2м для перерезания бронированного кабеля с жилами сечением до 300 мм², масса 1,7 кг (рис. 14);

клещи КСИ-1, предназначенные для снятия изоляции с проводов сечением 1,5; 2,5 мм² и их перекусывания, масса 0,23 кг (рис. 15);

клещи КСИ-2м — то же, с изолированными ручками, автоматическим зажимом провода, масса 0,21 кг;

клещи универсальные КУ-1, предназначенные для перекусывания провода, вырезания пленки, снятия изоляции, закручива-

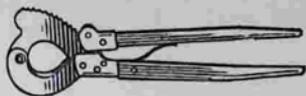


Рис. 13. Ножницы секторные НУСК-120.



Рис. 14. Ножницы секторные НБК-2м.

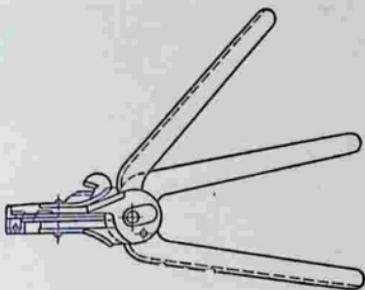


Рис. 15. Клещи для снятия изоляции КСИ-1.

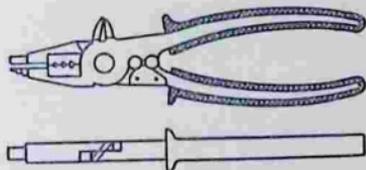


Рис. 16. Клещи универсальные КУ-1.

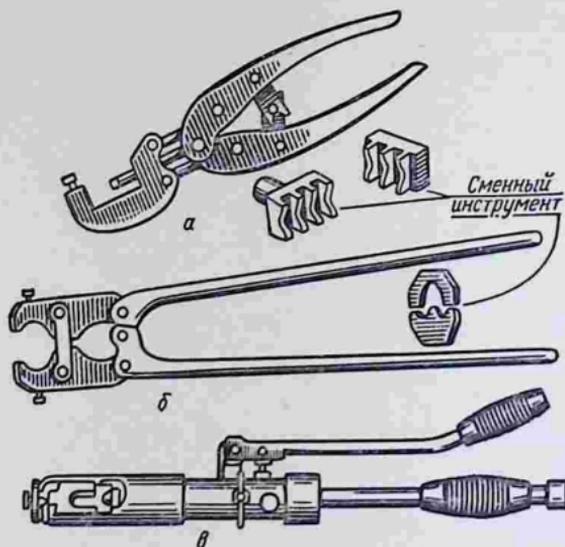


Рис. 17. Пресс-клещи ПК-2м (а), пресс-клещи ПК-1м (б), ручной гидрпресс РГП-7м (в).

ния колец на проводах сечением 1,5; 2,5; 4,0 мм², масса 0,26 кг (рис. 16);

пресс-клещи ПК-2м для опрессовки наконечников и соединительных гильз на жилах проводов и кабелей сечением до 10 мм², рабочее усилие 15 кН, масса 0,5 кг (рис. 17, а);

пресс-клещи ПК-1м для опрессовки наконечников и соединительных гильз, перекусывания жил проводов и кабелей сечением 1,6...50 мм², рабочее усилие 15 кН (рис. 17, б);

клещи КСП-4 для соединения жил алюминиевых проводов 2,5...4 мм² методом холодной сварки;

ручной механический пресс РМП-7 для опрессовки наконечников и гильз на жилы сечением 16...240 мм², рабочее усилие 70 кН, масса 4,9 кг;

ручной гидравлический пресс РГП-7м для соединения и оконцевания медных и алюминиевых жил изолированных проводов и кабелей сечением 16...240 мм², а также овальных соединителей на проводах воздушных линий (рис. 17, в). Опрессовку выполняют унифицированным инструментом УНИ-1А, УНИ-1М, УНИ-2А, НУСА, НИОС-2, поставляемыми отдельно;

клещи гидравлические монтажные ГKM для опрессовки гильз и наконечников сечением до 25 мм². Клещи комплектуются набором матриц и пуансонов.

Для выполнения различных видов электромонтажных работ инструменты комплектуют и поставляют в сумках в виде наборов ИН-2, ИН-3, ИН-4, НТС-2 и т. п.

Механический инструмент по виду привода рабочего органа подразделяется на электрический, пневматический, пиротехнический, гидравлический.

Установлена единая система классификации механизированного инструмента, согласно которой вид привода обозначается буквами (ИЭ — инструмент электрифицированный, ИП — инструмент пневматический, ИГ — инструмент гидравлический). Первая цифра за буквенным обозначением означает номер группы инструмента (1 — сверлильные машины, 2 — шлифовальные машины, 3 — машины для заворачивания крепежа, 4 — машины ударно-вращательного действия). Вторая цифра обозначает номер подгруппы, характеризует исполнение: 0 — прямые, 1 — угловые, 2 — многоскоростные, 3 — реверсивные. Последние две цифры означают порядковый регистрационный номер машины в своей подгруппе. Чем выше номер, тем более поздняя модель инструмента.

§ 5. Установочные материалы и изделия

В электромонтажном производстве для изготовления металлоконструкций, каркасов, электроконструкций опор воздушных линий, открытых подстанций, монтажных изделий и деталей применяют черные металлы в виде стали разных профилей: угловую, листовую, прутковую и другие, а также стальную проволоку, сетку и ленту.

Для защиты проводов от механических повреждений и воздействия окружающей среды используют стальные трубы, трубы из полимерных материалов и соединительные муфты к ним.

При вводе проводников в клеммные коробки электродвигателей, ящики, пусковую аппаратуру и при обходе препятствий применяют гибкие негерметичные и герметичные металлические рукава с хлопчатобумажным уплотнением.

Негерметичные рукава используют для защиты проводов и резиновых шлангов от механических повреждений, герметичные — для предохранения проводов от проникновения влаги.

С 1971 г. выпускаются гибкие металлические рукава в оболочке из полимерного материала, которые не требуют заземления.

Для ускорения монтажа оборудования монтажные предприятия используют специальные изделия, перечень которых составляет более 1200 наименований.

Например, для прокладки кабелей и проводов применяют следующие изделия:

полки без перфорации ПК-16 и ПК-25 (длина полки 160 и 250 мм соответственно) и с перфорацией ПК-16п и ПК-25п (рис. 18);

стойки для установки полок СК-40, СК-60, СК-80 и т. п.; для установки закладных подвесок П-6, П-8, П-18 (высотой 600, 800, 1800 мм);

ленты и кнопки для крепления проводов в пакеты (ленты имеют условное обозначение К-226, кнопки — К-227).

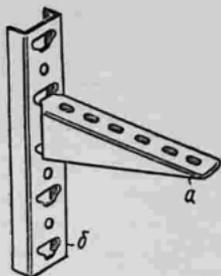


Рис. 18. Кабельные конструкции:

а — полка кабельная ПК-16и; б — стойка кабельная СК-80.

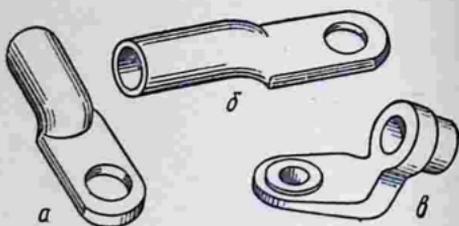


Рис. 19. Наконечники кабельные:

а — трубчатый медный типа Т; б — трубчатый алюминиевый типа ТА; в — литой алюминиевый типа ЛА.

Для оконцевания и соединения жил кабелей и проводов применяют следующие изделия:

наконечники кабельные для пайки, медные П-2-5, П-3-4, П-9-8, первая цифра означает внутренний диаметр трубчатой части (мм), вторая — диаметр контактного зажима (мм);

наконечники кабельные для опрессовки, трубчатые, медные (ГОСТ 7386—70) Т-3, Т-4, Т-5, цифра означает внутренний диаметр трубчатой части, мм (рис. 19, а);

наконечники кабельные алюминиевые ТА 5,4-6, ТА 7-6, закрепляемые опрессовкой (ГОСТ 9688—76), цифровые обозначения аналогичны обозначениям наконечников типа П (рис. 19, б);

наконечники трубчатые медно-алюминиевые ТАМ 5,4-6, ТАМ 7-6, ТАМ 8-8, закрепляемые опрессовкой (ГОСТ 9688—76);

наконечники алюминиевые литые типа ЛА для присоединения при помощи сварки (рис. 19, в).

Для соединения алюминиевых жил проводов и кабелей способом опрессовки применяют гильзы ГАО. Заполнение гильз может быть односторонним и двухсторонним. В гильзу одностороннего заполнения провода вводят с одного конца, а в гильзу двухстороннего заполнения — с двух. Опрессовку выполняют одним или двумя вдавливаниями при помощи клещей ПК-2. Гильзы одностороннего заполнения обозначают ГАО 4-1, ГАО 6-1, а двухстороннего — ГАО 4-2, ГАО 6-2. Цифры 4 и 6 указывают размер внутреннего диаметра гильзы (мм).

Крепежные детали: дюбели-гвозди ДГ, дюбели-винты ДВ, шурупы по дереву и по металлу, винты, болты, штыри, глухары, дюбели пластмассовые, дюбели с волокнистым наполнением.

При монтаже осветительных установок для ламп накаливания применяют подвесные настенные и потолочные резьбовые патроны. В сырых помещениях применяют фарфоровые или карболитовые патроны с раздельным вводом проводов. Для включения и выключения ламп пользуются выключателями различных конструкций: рычажными, барабанными, кнопочными.

Для включения в сеть переносных осветительных приборов используют штепсельные розетки. Выключатели и розетки рассчитаны на ток не более 6 А.

Изоляционные изделия (ролики, изоляторы, втулки, воронки, трубки, ленты, клещи и т. п.) предназначены для изоляции токоведущих частей проводов между собой и от заземленных частей. Ролики применяют в качестве изолирующих опор для прокладки проводов в сухих и влажных помещениях. Изоляторы применяют во всех группах помещений. Втулки и воронки применяют для оконцевания труб при проходе стен, перегородок, перекрытий, а также на вводах проводов в помещения. Изоляционные трубки используют для скрытой прокладки проводов, для выполнения пересечений с проводами, трубопроводами и т. п.

Соединения и ответвления проводов и кабелей выполняют в различных ответвительных коробках. Незащищенные изолированные провода, проложенные открыто, соединяют в коробках типа КО-1. Кабели в пластмассовой и резиновой оболочке соединяют в карболитовых коробках типа ҚОР.

Провода скрытой проводки соединяют в ответвительных коробках типа ҚП-1 или У-197.

Глава II

ВНУТРЕННИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

§ 1. Общие сведения об электропроводках

Электропроводкой называется совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями. По расположению электропроводки разделяются на внутренние и наружные, а также на открытые и скрытые. К наружным относятся электропроводки, проложенные по наружным стенам зданий и сооружений, между ними, под навесами, а также на опорах с тремя-четырьмя пролетами до 25 м каждый вне улиц и дорог. Наружные электропроводки выполняют кабелями, голыми и изолированными проводами. Открытые электропроводки прокладывают по поверхности стен и потолков, по фермам и конструкциям зданий, по станинам машин и оборудования. Скрытые электропроводки выполняют в конструктивных элементах зданий, в стенах, полах и перекрытиях. Скрытая электропроводка имеет ряд преимуществ перед открытой: она более безопасна и долговечна, защищена от механических повреждений, гигиенична, не загромождает стен и потолков. Но она дороже, и ее труднее заменить при необходимости.

К электропроводкам предъявляют следующие требования.

1. Механическая и электрическая прочность электропроводок должна обеспечивать долговечность внутренних проводок 10... 12 лет, кабельных линий — 25 лет.

2. Электропроводки нужно прокладывать так, чтобы они не загромождали помещения, не портили внешний вид оборудования.

3. Конструкция электропроводки должна обеспечивать возможность замены проводов, безопасность при обслуживании и эксплуатации, пожарную безопасность.

4. Электропроводки необходимо выполнять с учетом экономических требований.

При открытой электропроводке применяют следующие способы прокладки проводов: непосредственно по поверхности стен; на роликах; на изоляторах; на тросах и тросовыми проводами; в виниловых трубах; в стальных трубах; в коробах.

При скрытой проводке применяют следующие способы прокладки проводов: под штукатуркой; в пластмассовых трубах; в стальных трубах; в каналах несгораемых стальных конструкций.

§ 2. Рекомендации по применению проводов

При выборе марок установочных проводов и способов их прокладки необходимо руководствоваться следующими общими положениями.

1. В сухих и влажных помещениях при несгораемых конструкциях допускаются все виды проводов.

2. Провода и кабели нужно использовать по основному назначению. Например, провода АППВС — для беструбных скрытых электропроводок, АППВ, АПП — для открытой проводки непосредственно по несгораемым поверхностям, АПР, АПРВ, АПВ — для открытой прокладки на роликах, на изоляторах, на тросах, АППР — для открытой прокладки непосредственно по несгораемым и сгораемым поверхностям в сельскохозяйственных помещениях всех категорий, ПРГ, ПГВ — для присоединения к линиям подвижных частей электрооборудования, АПВ, АПРТО — для прокладки в трубах в помещениях всех категорий.

3. Электропроводки в трубах следует применять, когда недопустимы беструбные прокладки проводов.

4. В сырых и особо сырых помещениях при прокладке проводов в трубах предпочтительнее провода АПВ (вместо АПРТО).

5. В пыльных, сырых и особо сырых помещениях не допускаются проводки на роликах.

6. В особо сырых помещениях и помещениях с химически активной средой нельзя прокладывать провода на роликах, в пластмассовых трубах и под штукатуркой.

7. В пожароопасных помещениях не допускается прокладывать провода на роликах, в пластмассовых трубах, на тросах и тросовым проводом, а при сгораемых конструкциях — под штукатуркой и в виниловых трубах.

При проектировании следует применять провода, указанные в рекомендациях первыми.

Для питания переносных и передвижных электроприемников следует применять гибкие провода и кабели с медными жилами, специально предназначенные для этой цели, с учетом защиты от возможных механических воздействий. Все жилы, включая заземленную, для этих проводников должны быть в общей оболочке.

§ 3. Выбор проводов и кабелей для электропроводок

Электропроводка должна соответствовать условиям окружающей среды, ценности сооружений и их архитектурным особенностям.

Изоляция проводов и кабелей должна соответствовать номинальному напряжению сети, а защитные оболочки — способу прокладки. Нулевые провода должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводов.

Сечение проводов выбирают, руководствуясь значением допустимой потери напряжения, допустимого нагрева проводов током нагрузки и условиями механической прочности. Допустимые потери напряжения в осветительных сетях составляют 2,5% от номинального напряжения, в силовых сетях — 10%. Допустимая плотность тока зависит от материала жилы провода, вида изоляции, способа прокладки, сечения жилы. Для алюминиевых жил плотность тока составляет 1,6...10 А/мм², для медных — 2...17 А/мм². Большие значения плотности тока допускаются для малых сечений проводов: 1,5; 2,5; 4 мм².

По условиям механической прочности для алюминиевых проводов приняты следующие минимальные сечения: для вводов к потребителям и подводы к электросчетчикам — 4 мм², для проводов в стояках жилых зданий — 6 мм², для проводов на изоляторах, расположенных друг от друга до 6 м, — 4 мм², при расстоянии между изоляторами 12 м — 10 мм², 25 м — 16 мм². Минимальное сечение жил медных проводов по условиям механической прочности для переносных токоприемников составляет 0,75 мм², переносных шланговых кабелей — 1,5 мм², кабелей для передвижных электроприемников — 2,5 мм², провода для стационарной прокладки внутри помещения на роликах — 1 мм², для прокладки на изоляторах — 1,5 мм², для прокладки в наружных установках на роликах — 1,5 мм², на изоляторах — 2,5 мм².

Сечение проводов по допустимой потере напряжения рассчитывают по формуле

$$s = \frac{M}{C \Delta U},$$

где s — сечение провода, мм²; M — момент нагрузки, кВт·м; ΔU — допустимые потери напряжения, %; C — коэффициент, зависящий от материала жилы, рода тока, значения напряжения и системы распределения энергии.

Например, для переменного тока значение коэффициента приведено в таблице 4.

Система распределения энергии	Значение напряжения, В	Значение коэффициента C	
		для медных жил	для алюминиевых жил
3ф+0	380/220	77	46
2ф+0	380/220	34	20
1ф+0	220	12,8	7,7

§ 4. Монтаж открытых электропроводок плоскими проводами марок АППВ, АППП, АППР, АПН

При монтаже электропроводок нужно придерживаться следующего порядка операций.

1. Разметка мест ввода, установка щитка и счетчика, установка светильников, выключателей, розеток.
2. Разметка трассы проводов.
3. Разметка мест установки распределительных коробок.
4. Разметка концевых и промежуточных мест крепления провода.
5. Пробивка гнезд и проходов через стены.
6. Установка светильников, выключателей, розеток, распределительных коробок.
7. Раскатка, отмеривание и отрезание провода.
8. Прокладка и крепление проводов.
9. Оконцевание жил, присоединение к токоприемникам, соединение и ответвление проводов в коробках.
10. Контроль и пробное включение.

К выполнению работ по монтажу осветительных установок приступают при наличии проекта, в котором указаны места расположения щитка, светильников, выключателей, розеток и ввода. При отсутствии проекта руководствуются следующими правилами.

Щиток со счетчиком монтируют на высоте 1,5...1,7 м от пола в непосредственной близости от ввода. Одиночные лампы и светильники располагают по центру помещения или ближе к рабочему месту так, чтобы свет падал на рабочее место с левой стороны. Точку размещения светильника наносят на полу и при помощи отвеса переносят на потолок. При расположении в помещении двух и более светильников их располагают на средних линиях, удаляя от стен на половину расстояния между светильниками. Выключатели размещают с левой стороны при входе в комнату на высоте 1,5...1,7 м от пола в 100 мм от дверного откоса. Не следует размечать установку выключателей за дверями. Розетки устанавливают на высоте 0,8...1,0 м от пола в местах предполагаемого включения токоприемников.

Трассы электропроводок намечают по капитальным стенам или

прочным перегородкам в стороне от нагревательных приборов. Трассы располагают вдоль линий карнизов и потолка в 100...150 мм от них так, чтобы провода менее всего выделялись на стенах и потолке. Используют менее освещенные места стен и потолка. Вертикальные участки размещают по отвесу, при этом желательно избегать пересечений горизонтальных и вертикальных участков провода.

Распределительные коробки устанавливают там, где необходимо выполнить ответвление в другие комнаты, спуск к розетке, выключателю или светильнику. Число коробок должно быть минимальным, однако при вводе более 4 проводов затрудняется соединение и укладка жил внутри коробки. Концевые крепления провода выполняют на расстоянии 20 мм от края распределительной коробки, выключателя, розетки или светильника. Промежуточные крепления выполняют через равные промежутки между концевыми. Расстояние между точками крепления провода на разных участках может быть различным, но не должно превышать 400 мм.

Для перехода проводов из одного помещения в другое пробивают отверстия. При проходе проводов из сухого помещения в сырое или влажное делают два отверстия с наклоном в сторону сырого помещения во избежание потеков конденсата влаги по проводам в сторону сухого помещения. Соединение проводов выполняют в сухом помещении. Для ввода проводов пробивают два отверстия с уклоном в наружную сторону, расстояние между отверстиями 50...100 мм.

Выключатели, штепсельные розетки, патроны (настенные и потолочные) устанавливают на круглых деревянных розетках диаметром 60...70 мм из прессованной фанеры. Изделия к деревянным розеткам крепят шурупами. Деревянные розетки к основаниям крепят разными способами в зависимости от материала стен и потолков. К деревянным основаниям неоштукатуренным и оштукатуренным розетки крепят шурупами 5×50 мм. К кирпичным и бетонным стенам розетки крепят дюбелями типа ДГР 3,5×25 или ДВР М4×35 ручной забивки или дюбелями ДГ 4,5×40, ДВ М6×40 при помощи пистолета ПЦ-52. Деревянные розетки можно также крепить при помощи винтов и пластмассовых дюбелей, дюбелей с наполнителем, дюбелей с распорной гайкой, вмазанных спиралей.

К кирпичным и бетонным неоштукатуренным стенам деревянные розетки приклеивают клеем БМК-5 или № 88. Место установки очищают от пыли, затем намазывают клеем деревянную розетку и место ее установки. Синтетические клеи быстро сохнут и надежно закрепляют изделия.

Светильники крепят на специальных подвесках. Крепление конструкции подвеса светильника должно выдерживать без остаточных деформаций нагрузку, равную пятикратной массе светильника, и 800 Н дополнительных усилий. Одиночные патроны разрешается подвешивать на токоподводящем проводе.

У каждого токоприемника, выключателя, розетки и распределительной коробки должен быть запас конца провода 50 мм на 1... повторные разделки.

Повышенному расходу провода способствуют как излишние большие запасы на концах, так и отсутствие этих запасов. При повторной разделке в этом случае возникает необходимость замены целых участков провода.

При разматывании бухты ее необходимо вращать вокруг оси намотки, иначе образуются «барашки», надломы жил и разрушается изоляция. Применение вертушки для раскатки провода устраняет появление «барашков».

Провод раскатывают при температуре среды не ниже -15°C . При более низких температурах изоляция провода во время раскатки ломается. Провод АППВ перед креплением выпрямляют, проглаживают роликами или протягивают через ветошь. Полихлорвиниловая изоляция провода легко сдвигается с жил, поэтому, протягивая провод при выпрямлении, не следует прилагать большие усилия. При вводах в распределительные коробки, подходящих к токоприемникам соединительную пленку провода вырезают за 10 мм до коробки.

Провода крепят металлическими полосками, непосредственно гвоздями или приклеивают. Полоски нарезают из белой жести, оцинкованных или окрашенных стальных листов толщиной 0,3... 1 мм. Ширина полоски 10 мм. Под металлическими полосками провода защищают прокладками из электроизоляционного картона, выступающими на 2 мм с обеих сторон полоски. Полоску изгибают в виде скобки и прибивают гвоздями либо закрепляют в замок или под пряжку.

Для непосредственного крепления проводов выбирают гвозди диаметром 1,4...1,6 мм, длиной 25...32 мм, со шляпками диаметром 3 мм и забивают по средней линии разделительной пленки между жилами. Чтобы не повредить провод молотком, применяют оправки. Во влажных и сырых помещениях под шляпки гвоздей подкладывают смягчающие шайбочки из фибры, полиэтилена или поливинилхлорида. Угловые и концевые крепления выполняют, отступая 10 мм от разреза пленки. Прокладывать провода пучками не допускается. При параллельной прокладке проводов расстояние между соседними линиями должно быть 3...5 мм. В местах пересечения проводов на нижний накладывают 2...3 слоя изоляции.

При повороте трассы, при переходе с потолка на стену изгиб провода по плоской поверхности выполняют без разрезания пленки. Радиус изгиба жил должен быть не менее 20 мм, коробление изоляции не допускается. При повороте трассы в одной плоскости, например при изменении вертикального направления на горизонтальное, по одной стене соединительную пленку в месте изгиба вырезают на длину 60 мм. Внутреннюю жилу отгибают к центру угла в виде полупетли, сохраняя во всех закруглениях радиус изгиба жил не менее 20 мм (рис. 20).

По нештукатуренным кирпичным и бетонным стенам провод АППВ приклеивают клеем БМК-5 или № 88. Работы выполняют при температуре не менее 10°C в хорошо проветриваемых помещениях. Провод прокладывают участками по 2...3 м. Трассу очищают от пыли, покрывают клеем на 3...5 мм более ширины провода. Провод намазывают клеем с одной стороны, прокладывают по трассе, прижимают и проглаживают гладилкой до полного прилипания. Концы приклеенного провода разделяют не ранее 3...4 ч после приклеивания.

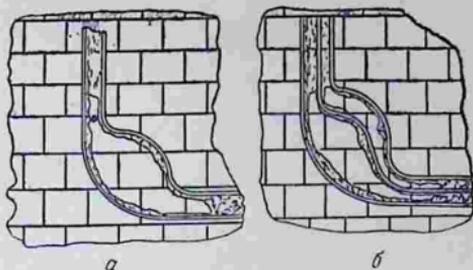


Рис. 20. Изгиб проводов АППВ по плоской поверхности:

а — провод двухжильный; б — провод трехжильный.

Для присоединения жил к винтовым или клиновым зажимам с концов провода снимают изоляцию, оформляют жилу в кольцо, для повышения электрической и механической прочности и герметизации места разделки подматывают изоляционную ленту.

В распределительных коробках провода соединяют одним из следующих способов: сваркой, пайкой, опрессовкой, винтовыми зажимами. Место соединения проводов не должно испытывать механических усилий, соединения должны быть только внутри распределительной коробки.

§ 5. Проводки в стальных трубах

Проводки в трубах применяют там, где надо защитить провода от механических и других воздействий: при малой высоте прокладки, в пожароопасных и взрывоопасных помещениях, на чердаках и на вводах. Водогазопроводные трубы применяют только во взрывоопасных помещениях, в остальных случаях используют тонкостенные стальные трубы с накатной резьбой по концам.

Не разрешается использовать трубы при неравномерной нагрузке фаз, когда разность по току превышает 25 А. При четырехпроводной линии запрещается прокладывать нулевой провод отдельно. Нельзя прокладывать одиночные провода в трубе, если нагрузка превышает 25 А.

Трубы для электропроводки должны быть без вмятин, трещин и шероховатостей внутри (грата, ржавчины, окалины). Грат удаляют специальным ножом. Допускается притупленный грат, выступающий не более чем на 0,5 мм. Внутренние заусенцы, ржавчину, окалину удаляют стальным ершиком. После очистки перед механической обработкой трубы окрашивают изнутри.

Перед монтажом свободные концы труб заглушают деревянными, полиэтиленовыми или металлическими заглушками. Трубные

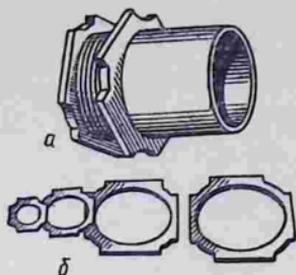


Рис. 21. Патрубок для ввода стальных труб в корпуса аппаратов (а) и царапающие гайки (б).

для скрытой прокладки должны быть более 10 диаметров трубы, для открытой прокладки — более 6 диаметров. Рекомендуется применять стандартные размеры радиусов изгиба: 160, 200, 250, 400, 800 мм. Углы поворота трассы также должны быть стандартными: 90°, 105°, 120°, 135° и 150°.

Трубопровод может быть уплотненным или неуплотненным. Уплотненный трубопровод имеет герметичные соединения всех звеньев и защищает проводку от воздействия агрессивной среды, не воспринимает и не распространяет взрыва или огня.

К аппаратам трубопроводы крепят сваркой, гильзами или царапающими гайками (рис. 21). Промежуточные крепления выполняют скобами, полускобами, накладками или закрепами. Расстояния между точками крепления зависят от диаметра труб, составляют для малых диаметров 2,5 м, а при диаметре 50 мм и более — 4 м.

Все сварочные работы на трубной трассе выполняют до затягивания проводов в трубы. Перед прокладкой проводов трубы очищают от пыли и влаги, продувая их сжатым воздухом. Для облегчения протаскивания проводов в трубы вдувают тальк, протягивают стальную проволоку — стальку. В тех случаях, когда это не удается, стальку зацепляют второй, встречной проволокой. Для предохранения изоляции проводов при протаскивании применяют защитные оконцеватели — разъемные втулки.

При монтаже проводок сечением до 10 мм² усилие протягивания не должно превышать 1 кН, а сечением 35 мм² — не более 5 кН.

§ 6. Проводки на тросах

Проводки на тросах — удобный и экономичный способ прокладки проводов. Несущим является стальной трос диаметром 3...6,5 мм или оцинкованная проволока 5...8 мм. Трос или проволоку натягивают вдоль помещения при помощи анкерных и натяжных приспособлений (рис. 22). Допускается стрела провеса 100...150 мм. Если длина проводки более 6 м, то устанавливают поддерживающие струны из оцинкованной проволоки диаметром 1,5...2 мм.

трассы прокладывают с уклоном в сторону протяжных шкафов и коробок так, чтобы внутри труб не накапливалась влага от конденсации паров. Длина трассы от одной протяжной коробки до другой или до токоприемника зависит от числа изгибов и составляет при одном изгибе до 50 м, при двух — до 40 м, при трех и более — до 20 м. В местах пересечения труб с осадочными швами зданий устанавливают компенсаторы в виде двух протяжных коробок, соединенных металлорукавами.

Для поворота трассы трубы изгибают по шаблонам. Радиусы изгиба

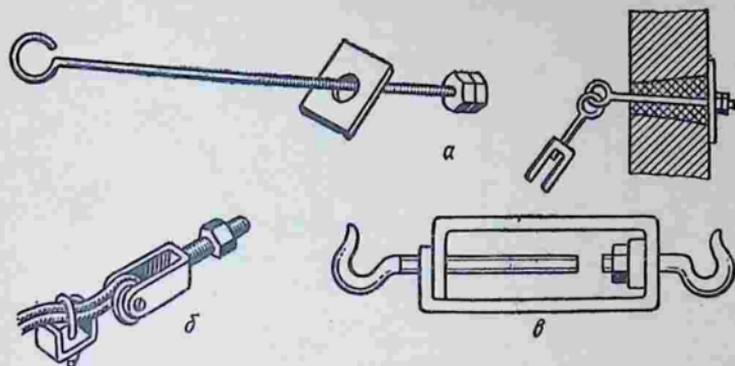


Рис. 22. Анкерные и натяжные приспособления для тросовых проводов:

а — натяжной винт; *б* — анкерное крепление троса; *в* — муфта натяжения троса.

К тросу подвешивают любые провода и кабели при помощи изоляционных клиц. Расстояние между клицами 1,5 м. В помещениях с негоряемыми перекрытиями провода и кабели с пластмассовой изоляцией допускается крепить непосредственно к тросу с изолированными прокладками толщиной 0,5...1 мм. Расстояние между точками крепления 0,5...0,6 м. Крепление выполняют перфорированной лентой с кнопками или полоской «в замок» или при помощи прыжки.

Светильники к тросовой проводке крепят за анкерные устройства клиц, провода от светильников к магистрали присоединяют при помощи плашечных сжимов в пластмассовом корпусе.

Трос может служить рабочим заземлением для светильников. При длине троса более 30 м его заземляют с двух сторон.

§ 7. Вводы линий электропередач в строения различного характера

Многообразие конструкций жилых, общественных, производственных и сельскохозяйственных построек требует в каждом отдельном случае устройства различных по исполнению вводов. Наиболее распространены вводы от воздушных линий в здания нормальной высоты через трубостойки и вводы при помощи кабельных линий. Ответвления и вводы следует выполнять по типовому проекту 3.407—82. Провода ответвлений к вводам в здания, как голые, так и изолированные, должны быть расположены на высоте не менее 6 м над проезжей частью улиц, не менее 3,5 м над пешеходными дорожками и тротуарами. Согласно ПУЭ—76, при определении расстояния от проводов воздушных линий до земли следует учитывать наибольшую стрелу провеса проводов без нагрева их электрическим током. Наибольшая стрела провеса может получиться в одном из двух расчетных случаев:

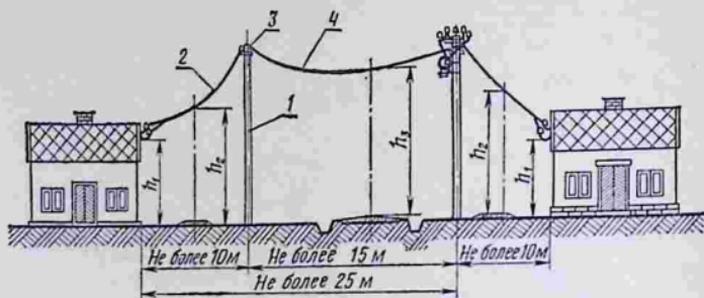


Рис. 23. Вводы в здания нормальной высоты:

1 — опора; 2 — провода отвода; 3 — линейный изолятор; $h_1 > 2,75$ м — расстояние по вертикали от проводов ввода до поверхности земли; $h_2 > 3,5$ м — расстояние от нижнего провода отвода до пешеходной дорожки; $h_3 > 6$ м — расстояние от нижнего провода линии в пролете до проезжей дороги.

1) провода покрыты гололедом, температура окружающего воздуха -5°C , ветер отсутствует;

2) температура окружающего воздуха высшая, ветер отсутствует.

Изоляторы ввода устанавливают на стенах зданий на такой высоте, чтобы расстояние по вертикали от проводов ввода до поверхности земли было не менее 2,75 м. Расстояние между соседними проводами у ввода должно быть не менее 200 мм. Длина ответвления к вводу не должна превышать 10 м. На рисунке 23 показаны различные варианты ответвлений к вводам. Расстояние по горизонтали от проводов до балконов, террас и окон зданий должно быть не менее 1,5 м, до глухих стен — не менее 1 м. При сближении проводов воздушных линий низкого напряжения с линиями связи и радиотрансляционной сети расстояние по горизонтали между крайними проводами линий должно быть не менее 2 м, а в стесненных условиях — не менее 1,5 м. При пересечении вводными проводами проводов радиовещания первые должны располагаться над проводами радиовещания. Расстояние между электрическими проводами и проводами радиовещания должно быть не менее 0,6 м.

Вводы в здания выполняют только изолированными проводами. Для этого в несгораемых стенах пробивают отверстие, общее для всех проводов ввода. В деревянных стенах для каждого провода просверливают отдельное отверстие. В обоих случаях каждый провод заключают в изоляционную полутвердую трубку. На концах трубок вне здания устанавливают фарфоровые воронки, внутри здания — втулки. В сырых, особо сырых и в помещениях с химически активной средой вместо втулок внутри помещений должны быть установлены воронки. Входные отверстия воронок и втулок после прокладки проводов заливают изоляционной массой.

Провода ввода присоединяют к проводам ответвлений зажимами. Зажим устанавливают не на проводе ответвления, а на свободном его конце, оставляемом специально для этой цели. Такой спо-

соб присоединения ввода исключает перегорание ответвлений при плохих контактах.

В тех случаях, когда высота зданий не позволяет выдержать установленные ПУЭ вертикальные габариты, вводы линий электропередачи в здания выполняют через трубостойки или подставные столбы. Трубостойки по способу закрепления и прохода внутрь здания подразделяются на два вида: вводимые через стену и вводимые через крышу. Следует отдавать предпочтение устройству ввода трубостоек

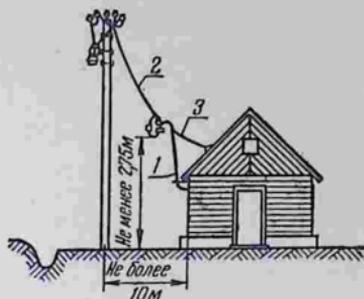


Рис. 24. Ввод в низкое здание через трубостойку:

1 — трубостойка; 2 — провода отвода от воздушной линии; 3 — оттяжка трубостойки.

через стену. Такой ввод проще в исполнении, обеспечивает сохранность внутренней поверхности стен и потолков, исключает возможность попадания влаги внутрь помещения (рис. 24). Для заземления на всех типах трубостоек имеется специальный заземляющий болт диаметром 10 мм. Трубостойку присоединяют к заземленному нулевому проводу заземляющим проводником диаметром 6 мм.

Вводы кабельных линий в здания в нормальных условиях выполняют на глубине прокладки кабелей. Допускается осуществлять ввод в здание на глубине до 0,5 м от поверхности земли при условии, если кабели защищены от механических повреждений трубами. Диаметр труб должен быть не менее 1,5...2,0 наружных диаметров кабеля. При вводе нескольких кабелей в здание в трубе можно прокладывать только один кабель. На вводе в здание необходимо сделать петлю кабеля длиной 1...1,5 м, образовав запас на случай перезарядки концевых воронок. При прокладке кабелей в траншеях около здания кабель прокладывают на расстоянии не менее 0,6 м от фундамента. Кабель, выходящий из траншеи на стены, должен быть защищен от механических повреждений на высоте 2 м от уровня земли. При вертикальной прокладке силовых кабелей по стенам зданий расстояние между точками крепления должно быть не более 2 м.

Трубы для ввода кабелей в здание нужно заделывать в фундамент таким образом, чтобы в здание не могла проникнуть вода при высоком уровне грунтовых вод. При уровне грунтовых вод ниже отметки ввода устраивать гидроизоляцию не следует.

§ 8. Монтаж проводок на чердаках

Недостаточный надзор, повышенная пожарная опасность, пыльная среда, воздействие насекомых усложняют эксплуатацию электропроводок на чердаках. По чердакам вынуждены прокладывать вводы в здания, магистрали, ответвления к токоприемникам, установленным непосредственно на чердаке. Соединительные и ответ-

вительные коробки на чердаках применяют только металлические. Открытые проводки выполняют проводами и кабелями с медными жилами. Места ввода проводов и кабелей в светильники и коробки уплотняют, выключатели монтируют вне чердаков. Открытые проводки выполняют на изоляторах. Расстояние между точками крепления проводов 1,0 м. На чердаках непроизводственных зданий допускается прокладывать провода на роликах при высоте прокладки более 1,5 м и удалении проводки от мест скопления горючих материалов. Расстояние между роликами 0,6 м.

В несгораемых конструкциях допускается скрытые проводки выполнять проводом с алюминиевыми жилами.

§ 9. Особенности монтажа проводок в животноводческих помещениях

В животноводческих помещениях стальные трубы применяют только для подводки энергии к двигателям. Провода и кабели применяют только с пластмассовой изоляцией. Арматура светильников, расположенных на высоте менее 2,5 м, должна исключить доступ к лампам. Оболочки кабеля вводят внутрь светильников, пускателей или двигателей. Если для светильников эти требования выполнить невозможно, то понижают рабочее напряжение до 36 В.

В качестве переносных используют лампы на напряжение 12 В. Розетки для переносных ламп должны иметь заземляющий контакт и самозакрывающуюся крышку. Во избежание перегрузки нулевого провода и связанной с этим несимметрией нагрузки по фазам ограничивают мощность однофазных токоприемников до 0,6 кВт.

В осветительных сетях применяют трехфазные автоматические выключатели. Осветительную нагрузку распределяют равномерно между фазами. Сечение нулевого провода принимают равным фазному. Предохранители на групповом щитке устанавливают только на фазных проводах, так как нулевой провод используется для зануления металлических корпусов оборудования. Патроны и светильники применяют с отдельным вводом проводов, предпочтительнее в пластмассовом или фарфоровом корпусе.

Распределительные и групповые щитки устанавливают в сухих помещениях. Двигатели используют сельскохозяйственного назначения.

Ветхие животноводческие помещения электрификации не подлежат.

§ 10. Монтаж осветительных и облучательных установок

Осветительные и облучательные установки представляют собой совокупность источников света или источников облучения и устройства, предназначенного для их крепления, включения в сеть, перераспределения светового или лучистого потока, ограничения слепя-

шего действия, защиты от механических повреждений и агрессивной среды.

Светильники делятся на подвесные, потолочные, настенные, настольные и встроенные. По исполнению они могут быть открытые, защищенные, влагозащищенные, пыленепроницаемые, взрывозащищенные.

Светильники и облучатели при монтаже надежно крепят к потолку, балкам, фермам, стенам и т. п. Для подвески используют металлические цепи, оцинкованную проволоку диаметром 1,5...2 мм, стальные трубы или кронштейны. Внутри труб и кронштейнов соединять провода ввода нельзя. Ввод в светильники и облучатели в пыльных и сырых помещениях уплотняют. При этом следят за тем, чтобы крышки и корпуса аппаратов не зажимали провод. При монтаже проверяют расположение светильников в ряду, не допуская заметных на глаз отклонений.

§ 11. Меры безопасности при монтаже проводов и осветительных установок

Все работы при монтаже проводов и осветительных установок выполняют при обесточенном оборудовании. Работу, связанную с пробивкой отверстий, выполняют в брезентовых рукавицах и защитных очках. Длина инструмента для пробивки сквозных отверстий вручную должна превышать толщину стены на 200 мм. Работу выполняют стоя на огражденных лесах и подмостях. Работать в двух и более ярусах по одной вертикали не разрешается.

Если при затягивании проводов в трубы усилия одного человека недостаточно, следует применять лебедку. Подающий провод или кабель в трубу должен держать провод не ближе 1 м от трубы. Работу следует выполнять в рукавицах. При раскатке бухты провода нельзя пятиться, следует идти вперед, оставляя размотанный провод сзади.

При натягивании проводов сечением 4 мм² и более нельзя пользоваться приставными лестницами.

Глава III

МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ И АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ

§ 1. Порядок предварительного осмотра двигателей

Принимая двигатели от заказчика, во время осмотра обращают внимание на то, чтобы ротор вращался свободно и плавно. Двигатели малой и средней мощности должны легко вращаться от руки, двигатели мощностью свыше 10 кВт вращают при помощи рычага. Во время внешнего осмотра выявляют комплектность деталей двигателя, сохранность клеммника, крышек, крепежных болтов и гаек. При необходимости выполняют ревизию двигателя, очищают его

от пыли и грязи, заменяют смазку в подшипниках, затягивают клеммные соединения, измеряют сопротивление изоляции обмоток между фазами и по отношению к корпусу.

Согласно ГОСТ 183—66, сопротивление изоляции электрических машин должно быть не менее 0,5 МОм при рабочей температуре двигателя. Обычно сопротивление изоляции двигателя, измеренное при температуре 20°C, колеблется в пределах от 5 до 100 МОм. При меньших значениях сопротивления изоляции обмоток требуется тщательная продувка обмоток (удаление проводящей пыли) или сушка изоляции (удаление влаги). В тех случаях, когда мегомметр указывает на короткие замыкания обмоток, следует устранить неисправность. Чаще всего место короткого замыкания находится в клеммнике или на выводных концах обмоток двигателя.

Перед монтажом следует убедиться в соответствии исполнения двигателя условиям окружающей среды. В сухих помещениях, где нет опасности попадания на двигатель брызг и стружек, применяют двигатели защищенного исполнения. В помещениях, опасных в пожарном отношении (зернопункты, деревообрабатывающие мастерские, мельницы и т. п.), устанавливают закрытые обдуваемые двигатели. В особо сырых помещениях и помещениях, содержащих пары аммиака, рекомендуется использовать двигатели закрытого исполнения сельскохозяйственного назначения.

§ 2. Опорные основания под двигатели

Опорными основаниями под двигатели служат фундаменты из кирпича, бетона или железобетона.

Глубина заложения фундамента зависит от качества грунта, обычно составляет 0,5...1,5 м. Фундамент реконструируется укладывать на материковый грунт, полностью убирая ваемого двигателя в 10 раз. В тех случаях, когда двигатель работает в условиях частых пусков и торможений, приводит в движение кривошипно-шатунные механизмы или имеет ударную нагрузку, масса фундамента должна превышать массу двигателя в 20 раз.

Фундамент выступает над полом на 100...150 мм и превышает салазки или плиту двигателя на 150...200 мм.

Не следует связывать между собой фундаменты отдельных двигателей и соседних машин. Для обслуживания механизмов между фундаментами оставляют проходы шириной не менее 1 м. Минимальное расстояние между двигателем и стенами или колоннами составляет 0,3 м.

Время выдержки кирпичного фундамента до начала монтажа составляет 5...7 дней, бетонного — 10...15 дней. В фундаменте оставляют колодцы для заливки анкерных болтов. Болты в колодцы закладывают по размеру отверстий салазок или фундаментной плиты. Салазки или плиту устанавливают на фундамент по уров-

ню, подкладывая под них регулировочные шайбы. После выверки салазок анкерные болты заливают раствором, состоящим из одной части цемента и одной части промытого песка.

Обычно на фундаментах устанавливают двигатели средней и большой мощности. Двигатели малой мощности устанавливают на станинах машин, на кронштейнах на прочном деревянном или бетонном полу, а также крепят на стенах и на потолке. Двигатели массой до 60 кг разрешается крепить к полу или стене глухарями, а массой до 120 кг — сквозными болтами или шпильками с шайбами на обратной стороне стены или пола. В тех случаях, когда прочность стены не позволяет крепить двигатель, надежное крепление обеспечивается за счет вертикальных рам или досок соответствующей длины. В тех случаях, когда установка двигателя непосредственно на стене нежелательна, двигатель устанавливают на горизонтальных кронштейнах. С целью уменьшения вибрации и шума на кронштейны кладут прочную деревянную доску — прокладку. Относительно рабочей машины двигатель на стене устанавливают таким образом, чтобы направление приводного ремня с вертикалью образовало угол не более 30° . При установке машин массой до 60 кг на потолке угол между плоскостью потолка и ремнем допускается до 45° , для машин массой более 60 кг — до 10° .

§ 3. Центровка валов электрических двигателей

Точность установки двигателя на фундаменте или кронштейнах зависит от мощности двигателя, частоты вращения ротора, типа передачи. Центровка вала двигателя относительно вала рабочей машины одна из ответственных и трудоемких операций. Правильно выполненная центровка обеспечивает надежность и долговечность работы электропривода в целом: нарушения в центровке приводят к вибрациям, стукам, разрушению подшипников двигателя и рабочей машины, ускоренному износу ремней, поломке муфт, выходу из строя контактных соединений, пусковой аппаратуры и двигателя.

При передаче крутящего момента ремной или цепной передачей необходимо обеспечить натяжение ремня или цепи и совместить средние линии шкивов или звездочек. Для выполнения первого условия под двигатель или рабочую машину устанавливают салазки. Иногда двигатель устанавливают на кронштейнах, имеющих овальные отверстия, что обеспечивает натяжение приводного ремня. Средние линии

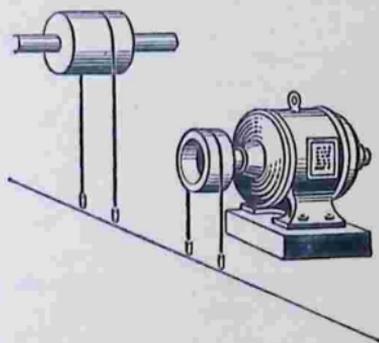


Рис. 25. Совмещение средних линий шкивов при помощи струны.

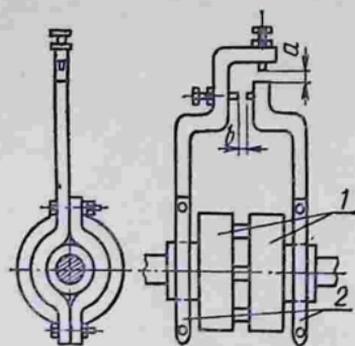


Рис. 26. Установка центровальных скоб на полумуфты:

1 — полумуфты; 2 — скобы; а — радиальный зазор; б — осевой зазор.

шкивов совмещают при монтаже двигателя, контролируя это по натянутой параллельно шкивам струне (рис. 25). При этом не должно быть заметных на глаз отклонений.

При соединении двигателя и рабочей машины или редуктора при помощи муфты валы соединяемых машин устанавливают в такое положение, при котором торцевые поверхности полумуфт параллельны, а оси валов расположены на одной прямой линии. Степень несоосности зависит от типа применяемых муфт. Для жестких муфт (поперечно-свертных) отклонение в зазорах допускается 0,01 мм на 100 мм диаметра муфты. Упругие муфты (втулочно-пальцевые) допускают отклонения в зазорах 0,08...0,12 мм на каждые 100 мм диаметра муфты.

Центровку валов выполняют в два приема. Сначала проверяют отклонение муфт, накладывая линейку на их образующие. Проверяют, есть ли зазор между линейкой и образующими в четырех местах: вверху, внизу и в двух средних точках. Для устранения зазора под лапы электродвигателя подкладывают прокладки толщиной 0,5...0,8 мм. Число прокладок не должно превышать 4 штук. Когда прокладок оказывается больше, их заменяют более толстыми.

Окончательную центровку выполняют при помощи центровальных скоб (рис. 26). Скобы крепят на полумуфтах хомутами и в процессе центровки шупом, микрометром или индикатором измеряют осевые и радиальные зазоры. Поворачивая вал двигателя совмещают равенства осевых зазоров на угол 0°, 90°, 180° и 270°, добиваются равенства осевых зазоров в четырех фиксированных точках. Так же добиваются равенства радиальных зазоров. При необходимости более точно центровать валы регулируют установку двигателя, добавляя регулировочные прокладки между лапами двигателя и салазками. Отклонение в зазорах не должно превышать значений, допустимых для данного вида муфты.

Выверенный двигатель надежно закрепляют болтами и проверяют точность центровки после закрепления, так как выверка может быть нарушена при затяжке болтов.

§ 4. Присоединение проводов питания, зануление, заземление

У двигателей серии А, АО, АОЛ выводные проводники обмоток защищены от механических повреждений крышкой (коробка типа К-1). Выводы проводов двигателей А2, АО2, АОЛ2 и серии 4А за-

щищены более надежным и универсальным устройством (коробки типов К-2 и К-3). Коробки обеспечивают ввод питания с любой стороны, позволяют заводить кабель или металлорукав внутрь клеммника. Выводные концы в коробке типа К-3 позволяют легко переключить схему соединения обмоток двигателя с треугольника на звезду, обеспечивая рабочее напряжение 220 или 380 В путем установки перемычек вертикально или горизонтально. Во всех случаях жилы проводов или кабелей присоединяют к статорным проводам двигателя С1, С2 и С3 или С6, С4, С5 при помощи разъемных зажимов. Обычно для зажимов используют винты с гайками, ограничивающими и пружинными шайбами. В коробках типа К-2 со свободными выводными концами места соединения изолируют двумя-тремя слоями изоляционной ленты.

Для устранения опасности поражения людей и животных электрическим током корпуса электродвигателей и металлические конструкции, на которых они установлены, заземляют. В четырехпроводных сетях, имеющих глухозаземленную нейтраль, все нетоковедущие металлические части соединяют с нулевым проводом, зануляют. В этом случае повреждение изоляции обмоток двигателя приводит к пробоям на корпус и появлению короткого замыкания в цепи фаза — нуль. Поврежденная установка автоматически отключается защитой от сети. Если двигатель защищен плавкими предохранителями, то ток плавкой вставки должен быть в три раза меньше тока петли фаза — нуль, а во взрывоопасных помещениях — в четыре раза. Для защиты автоматическими выключателями ток срабатывания защиты должен быть в три раза меньше тока петли фаза — нуль, а во взрывоопасных помещениях — в шесть раз.

Для зануления или заземления заземляющие проводники присоединяют к специально предусмотренным болтам на корпусе электродвигателя. Контактная поверхность проводника и место присоединения его на корпусе двигателя должны быть зачищены до блеска и смазаны техническим вазелином. При ревизиях и ремонтах не следует окрашивать места присоединения заземляющих проводников. Заземление оборудования, подвергающееся вибрации, выполняют при помощи стального троса с наконечниками, закрепленными сваркой.

§ 5. Монтаж аппаратуры управления

Аппараты управления электродвигателями предназначены для включения и отключения электрических двигателей, для их защиты, а также для изменения, регулирования и контроля различных параметров двигателя. По принципу включения различают аппараты неавтоматического включения (рубильники, пакетные выключатели, барабанные, кулачковые, универсальные переключатели, реостаты, конечные выключатели и т. п.) и аппараты автоматического включения и отключения (автоматические выключатели, маг-

нитные пускатели, реле, тиристорные пускатели и т. п.). По исполнению аппараты делят на открытые, защищенные, пылеводозащищенные, взрывозащищенные. Открытые аппараты устанавливают в шкафах или электротехнических помещениях — распределительных пунктах (РП). Шкафы и РП должны запираются замком. Защищенные аппараты устанавливают в сухих и влажных отапливаемых помещениях; пылеводозащищенные аппараты монтируют в пыльных, сырых или особо сырых помещениях и наружных установках. Взрывозащищенные аппараты применяют во взрывоопасных помещениях.

Для управления асинхронными двигателями мощностью до 75 кВт используют магнитные пускатели. Магнитные пускатели обладают рядом достоинств по сравнению с другими пусковыми аппаратами. Пускатели обеспечивают дистанционное или автоматическое управление электроприводом, осуществляют защиту от длительных перегрузок, от глубоких снижений напряжения или исчезновения напряжения. Они допускают кратковременное включение 10-кратного тока и отключение 8-кратного тока. Частота включений — 600 циклов в час, общее число включений превышает 1 млн. Обеспечивается безопасность оперативного персонала, который выполняет переключения лишь в цепи управления магнитного пускателя.

В настоящее время разработаны и применяются бесконтактные пускатели, использующие управляемые диоды (тиристоры). Тиристорные пускатели применяют там, где необходимо плавно изменять параметры, когда велика частота включений (более 600 циклов в час), когда требуется обеспечить быстрое действие или передать сигналы, несущие малую энергию. Однако на современном уровне развития техники бесконтактные аппараты не могут полностью заменить контактную аппаратуру. Замена многополюсных контактных аппаратов бесконтактными нецелесообразна по следующим причинам. Стоимость и габариты тиристорных пускателей много выше, чем магнитных. Для двигателя напряжением 380 В и мощностью 17 кВт стоимость тиристорного пускателя выше в 50 раз, а объем — в 7 раз по сравнению с магнитным. Тиристорные пускатели не допускают перегрузок по току и напряжению, не могут коммутировать постоянный ток, создают радиопомехи. Известны и другие недостатки бесконтактной аппаратуры. К настоящему времени бесконтактные пусковые аппараты не нашли заметного распространения в сельском хозяйстве.

Магнитные пускатели наиболее распространены, поэтому с их устройством, монтажом, маркировкой следует познакомиться более подробно. Пускатель состоит из главных и вспомогательных контактов, магнитопровода, катушки, теплового реле с механизмом возврата. Пускатели защищенного исполнения имеют оболочку. Для включения и отключения пускателей используют кнопочные станции. Кнопка «Пуск» имеет один замыкающий контакт, кнопка «Стоп» — один размыкающий, кнопки «Вперед» и «Назад» устрое-

ны одинаково, могут иметь по одному замыкающему и одному размыкающему контакту или только по одному замыкающему. Некоторые пускатели изготовляют со встроенными в оболочку кнопками.

В сельскохозяйственных электроустановках нашли широкое применение пускатели серии ПМЕ, ПА, П6, ПАЕ. Используются также пускатели Польши и ГДР серии BSt и MSt. Заводы-изготовители не дают пояснений отдельных букв в серии пускателей. После серии в обозначении пускателя ставится трехзначная цифра. Первая цифра слева обозначает величину пускателя, средняя, как правило, — исполнение оболочки, цифра справа — дополнительные признаки.

Пускатели серии ПМЕ имеют величины 0, 1 и 2. Пускатели П6 — только величину 1. Пускатели серии ПАЕ имеют величины 3, 4, 5 и 6. Большая величина соответствует пускателям, включающим двигатель большей мощности.

Цифра 1 в середине указывает на открытое исполнение, пускатель не защищен от касания рукой или попадания посторонних предметов. Согласно ГОСТ 14254—69, такое исполнение обозначается также IP-00 (IP — International Protection — относится к международной системе обозначений). Цифра 2 обозначает защищенное исполнение, пускатель закрыт крышкой, международное обозначение IP-30, цифра 3 — пылевлагозащищенное исполнение IP-52, цифра 4 — взрывозащищенное исполнение IP-64. Цифры 5 (IP-30), 6 (IP-52) и 7 (IP-64) обозначают исполнение пускателей с увеличенной оболочкой для укладки транзитных проводов и кабелей внутри оболочки соответственно защищенного, пылевлагозащищенного и взрывозащищенного исполнений. Исключение составляет обозначение пускателей ПМЕ величины 0. Цифрами 1, 2, 3 в середине обозначены пускатели открытого, защищенного, пылевлагозащищенного исполнения с четырьмя замыкающими контактами. Цифрами 4, 5, 6 обозначены пускатели открытого, защищенного и пылевлагозащищенного исполнения с четырьмя замыкающими и двумя размыкающими контактами. Цифрами 7, 8, 9 обозначены такие же пускатели с четырьмя замыкающими и четырьмя размыкающими контактами.

Дополнительные признаки включают в себя характер вращения электрического двигателя (реверсивный, нереверсивный), наличие тепловой защиты у магнитного пускателя, наличие встроенных в оболочку кнопок «Пуск» и «Стоп».

Таким образом, цифры справа обозначают: 1 — пускатель без тепловой защиты, без встроенных в оболочку кнопок «Пуск» и «Стоп», предназначен для управления нереверсивным двигателем; 2 — то же, с тепловой защитой; 3 — пускатель без тепловой защиты, без встроенных в оболочку кнопок «Пуск вперед», «Пуск назад» и «Стоп», предназначен для управления реверсивным двигателем; 4 — то же, но с тепловой защитой; 5 — пускатель без тепловой защиты со встроенными в оболочку кнопками «Пуск» и «Стоп».

для управления нереверсивным двигателем; 6 — то же, но с тепловой защитой.

На рисунке 27 показана принципиальная электрическая схема включения асинхронного двигателя при помощи магнитного пускателя. Такие схемы используют, когда необходимо уяснить принцип действия установки.

Присоединение проводов электрооборудования проще и удобнее выполнять по монтажным схемам. На рисунке 28 показана монтажная схема пускателя ПМЕ-312 с адресным способом маркировки проводов. Кнопочная станция присоединена между катушкой пускателя и фазным проводом. Не допускается присоединять кнопку к нулевому проводу, так как в этом случае невозможно кнопкой «Стоп» выключить пускатель при случайном соединении клеммы катушки с нулевым проводом или заземленным корпусом пускателя, которое может произойти при попадании в пускатель проводящих предметов или по другим причинам.

Последовательность работы схемы следующая (рис. 27). При включении автоматического выключателя напряжение из сети подается на верхние неподвижные контакты силовой цепи пускателя, а через кнопку «Стоп» *КНС* подводится к контакту кнопки «Пуск» *КНП*. При замыкании кнопки «Пуск» образуется цепь тока: фаза *С*, кнопка «Стоп», кнопка «Пуск», катушка пускателя, размыкающий контакт теплового реле и нулевой провод сети. При протекании тока по этой цепи в соединительных проводах, контактах теплового реле, кнопках «Пуск» и «Стоп» и винтовых клеммах происходит незначительная потеря напряжения, а следовательно, рассеяется минимальная мощность. Наибольшая мощность выделяется в катушке, совершается необходимая полезная работа по вытягиванию и удержанию втянутого якоря магнитопровода

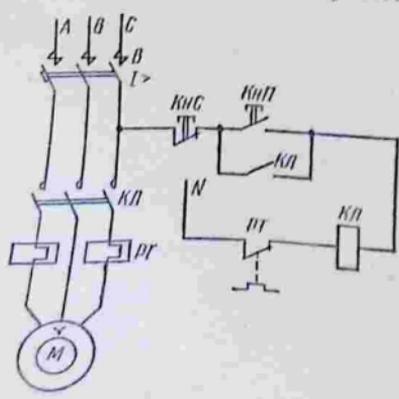


Рис. 27. Схема управления нереверсивным электродвигателем.

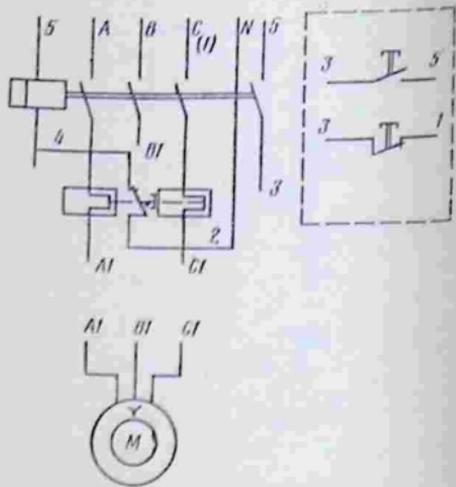


Рис. 28. Монтажная схема пускателя.

пускателя. Вместе с ним перемещаются подвижные главные и вспомогательные контакты, замыкаются силовые и блокировочные цепи. В результате замыкания главных контактов образуется цепь тока на двигатель, ротор двигателя начинает вращаться.

Замыкание блокировочных контактов образует дополнительную, параллельную кнопке «Пуск» цепочку. После отпущения кнопки «Пуск» ее контакты возвращаются в исходное разомкнутое состояние, а цепь тока на катушку остается замкнутой от фазы С, через контакты кнопки «Стоп», блок-контакт пускателя, катушку, размыкающий контакт теплового реле и нейтральный провод. Отключается пускатель при кратковременном разрыве цепи управления кнопкой «Стоп». При этом катушка обесточивается, якорь магнитопровода отпадает от сердечника, контакты пускателя приходят в исходное разомкнутое состояние, двигатель не получает питание, его ротор останавливается.

В случае перегрузки электрического двигателя не происходит автоматического отключения пускателя. При этом двигатель длительно потребляет ток, превосходящий номинальный ток теплового реле. Нагревательные элементы теплового реле нагреваются этим током, передают нагрев биметаллическим пластинам, последние, изгибаясь, размыкают контакт теплового реле при токе, большем номинального на 20% и более, происходит разрыв цепи питания катушки пускателя. Снова отпадают якорь и связанные с ним подвижные мостики контактов, двигатель отключается. Отключение двигателя происходит также в случае исчезновения или снижения напряжения сети на 50% и более. При этом магнитный поток, создаваемый катушкой, ослабевает настолько, что катушка не может удерживать пускатель во включенном состоянии.

Магнитные пускатели используются для реверсирования электрических двигателей. Реверсивный пускатель комплектуется из двух нереверсивных. Одновременное включение пускателей недопустимо из-за появления двухфазного короткого замыкания на главных контактах. Для безаварийной работы устраняют механические и электрические блокировки, которые при включенном одном пускателе исключают возможность включения другого. При наладке и проверке реверсивных пускателей следует обращать внимание на исправность блокировок, а также на первоочередное размыкание размыкающего контакта электрической блокировки, а затем замыкание его главных контактов.

Управление реверсивным пускателем осуществляется при помощи трехкнопочной станции. Принципиальная схема реверсивного пускателя показана на рисунке 29. Схема позволяет включать и отключать двигатель как в прямом, так и в обратном направлениях, а также реверсировать двигатель без промежуточной остановки. Кратковременно при переключении с одного направления вращения на другое двигатель работает в режиме противовключения.

При частых переключениях и больших приведенных моментах инерции вращающихся масс потери энергии от пусковых токов и

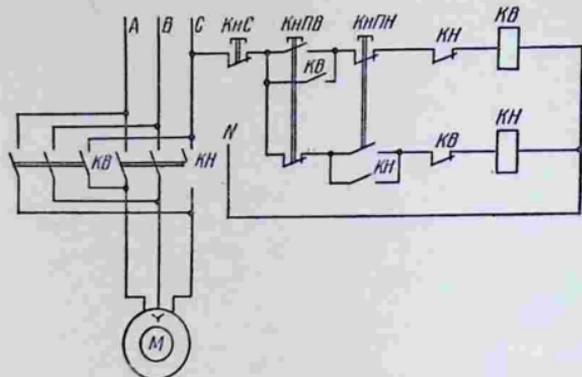


Рис. 29. Схема управления реверсивным электродвигателем с использованием блокировочных связей.

токов противовключения могут превышать допустимые и двигатель может выйти из строя. В этом случае необходимо использовать схему, обеспечивающую реверсирование двигателя с предшествующей остановкой. В такой схеме используют одноцепные пусковые кнопки для включения катушек (рис. 30).

Для монтажа схем управления реверсивным пускателем по рисунку 29 требуется присоединить шесть соединительных проводов между пускателем и кнопочной станцией. Известна схема, в которой без нарушения функциональной связи достаточно иметь пять соединительных проводов. По остальным признакам — типу кнопочной станции, наличию блокированных связей, возможности реверсирования без предварительной остановки — схема идентична предыдущей. Следовательно, во всех случаях серийных присоединений реверсивных пускателей и в случаях удаления кнопочной станции от пускателя следует провода соединять по схеме, показанной на рисунке 31.

Перед монтажом пусковые аппараты осматривают, проверяют комплектность, чистоту контактов, регулировку, легкость включения и отключения. Пусковую аппаратуру устанавливают на капитальных стенах, колоннах или специальных сварных конструкциях. Ее размещают по возможности ближе к электродвигателям, при этом учитывают удобство обслуживания, ревизии, ремонта или замены.

Высота установки аппаратов должна быть 1,3...1,8 м.

Пускатели монтируют вертикально. Надежная работа пускателя обеспечивается при отклонении от вертикали не более 5°. Рукоятки включения и отключения, кнопочные станции управления пускателями должны быть на высоте 1,5...1,7 м от пола. При этом стремятся, чтобы магнитные пускатели находились в равных температурных условиях с электродвигателями, чем обеспечивается лучшая тепловая защита двигателей.

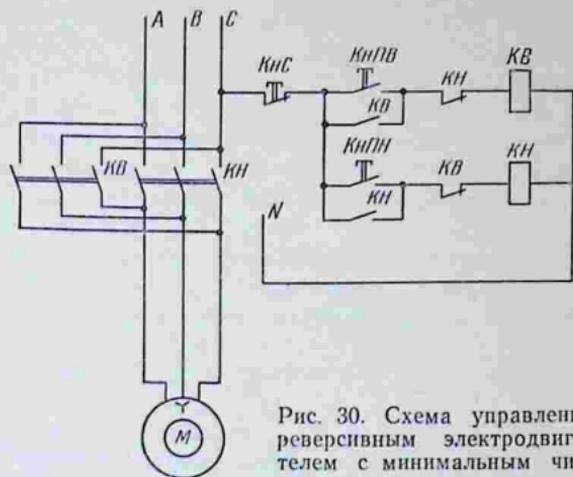


Рис. 30. Схема управления реверсивным электродвигателем с минимальным числом проводов.

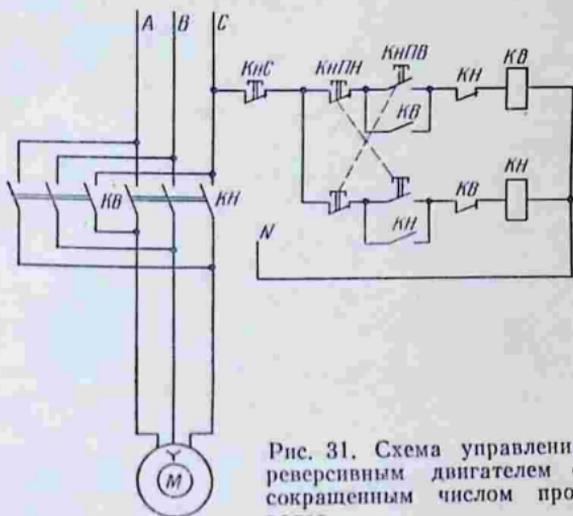


Рис. 31. Схема управления реверсивным двигателем с сокращенным числом проводов.

Кнопочную станцию можно устанавливать в любом месте. Однако удобно, если оператор при пуске и остановке видит двигатель и приводимый в движение механизм. Правила технической эксплуатации рекомендуют при установке электродвигателя на расстоянии более 5 м от приводимого им механизма или при размещении электродвигателя и механизма в разных помещениях для остановки электродвигателя устанавливать возле механизма дистанционную кнопку «Стоп» или выключатель. В отличие от осветительных силовые проводки выполняют в нижней части помещения.

Поэтому их всегда нужно защищать от механических повреждений.

Жилы к клеммам аппаратов присоединяют винтовыми зажимами. У аппаратов с номинальными токами до 25 А применяют втычные контактные соединения. Для этого жилу провода оголяют, зачищают, излишки оголенного провода отрезают, оформленную «пестиком» жилу зажимают под ограничивающую шайбу винтовой клеммы пускателя.

Сопротивление переходных контактов клеммных соединений не должно превышать сопротивления жилы на целом участке провода. Если это условие не соблюдается, то нагрев контакта ускоряет его окисление и старение, сопротивление лавинно возрастает, препятствуя прохождению тока, что приводит к работе двигателя на двух фазах и выходу его из строя.

Провода в пускателе не должны испытывать механических нагрузок, провода в трубах не следует натягивать. Нужно следить, чтобы концы труб были защищены втулками, а проход проводов через оболочку пускателя выполнялся при помощи пластмассовых оконцевателей или резиновых трубок. После окончания сборки схемы заземляют или зануляют все металлические части электроустановки — оболочку пускателя, кнопочной станции, стальные трубы.

Таблица 5

Мощность двигателя, кВт	Серия и величина магнитного пускателя	Сечение жилы провода АПВ, мм ²	Мощность двигателя, кВт	Серия и величина магнитного пускателя	Сечение жилы провода АПВ, мм ²
До 1,1	ПМЕ-0	2,5	От 17 до 30	ПАЕ-4	16
От 1,1 до 4,0	ПМЕ-1	2,5		ПАЕ-4	25
От 4,0 до 7,5	ПМЕ-2	2,5	40	ПАЕ-5	35
От 7,5 до 10	ПМЕ-2	4,0	55	ПАЕ-5	50
От 10 до 13	ПАЕ-3	6,0	75	ПАЕ-6	70
От 13 до 17	ПАЕ-3	10			

В таблице 5 приведены мощности электрических двигателей, рекомендуемые к ним магнитные пускатели и сечения жил алюминиевых проводов для выполнения силовой проводки при напряжении сети 380 В.

§ 6. Включение электродвигателя после монтажа

Прежде чем включить электропривод, его осматривают. Убирают посторонние предметы, проверяют заземление, прокручивают двигатель и рабочую машину вручную. Когда позволяют условия, рабочую машину отъединяют от двигателя. Проверяют надежность крепления всех агрегатов. Первый пуск осуществляют на короткое время на холостом ходу. При пуске обращают внимание на направление вращения вала. Если направление совпадает с заданным, то

двигатель включают на большее время. Проверяют отсутствие стуков и вибраций, нагрев подшипников. После остановки проверяют нагрев обмоток, клеммных соединений. Если направление вращения не совпадает с заданным, меняют местами две фазы. Смену фаз удобнее выполнять у пускового аппарата. После устранения замеченных недостатков включают двигатель с рабочей машиной, наблюдают совместную работу, плавность работы передачи, отсутствие нагрева подшипников рабочей машины и т. п.

Глава IV

МОНТАЖ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

§ 1. Общие требования и правила при сооружении воздушных линий электропередачи

Электрические воздушные линии. Воздушной линией (ВЛ) называется устройство для передачи и распределения электрической энергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам инженерных сооружений (мостов и т. п.).

Воздушные линии сооружают по проекту, в котором отражены вопросы организации и производства строительно-монтажных работ. В организационной части приводятся объемы строительно-монтажных работ, потребность в строительных конструкциях, деталях, изоляторах, проводах, рабочих и механизмах. В производственной части приводятся календарный план строительно-монтажных работ, график движения рабочих по видам работ, график движения механизмов, технологические карты на разработку котлованов под опоры, сборку и установку опор, монтаж проводов и пр. Однако ряд небольших линий, отпайки небольшой протяженности, реконструкции линий могут выполняться без проектной документации.

Воздушные линии состоят из следующих основных конструктивных элементов: опор, проводов, изоляторов, линейной арматуры и заземляющих устройств. Сооружение ВЛ ведется в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) и «Строительными нормами и правилами» (СНиП).

Опоры. На воздушных линиях напряжением до 1000 В применяются опоры деревянные из антисептированной древесины, деревянные на железобетонных или деревянных (антисептированных) приставках и железобетонные. Различают опоры анкерные, промежуточные, угловые, концевые, ответвительные и перекрестные.

Деревянные опоры из непропитанной древесины в среднем служат 4...5 лет (сосна), из пропитанной — 12...20 лет. Их изготавливают из бревен не ниже третьего сорта. Минимально допустимый диаметр в верхнем отрубе 14, а для вспомогательных элементов опор 12 см. Стойку с приставкой соединяют болтами, хомутами или проволочными бандажами из стальной оцинкованной проволо-

ки диаметром 4 мм (12 витков) или неоцинкованной 5...6 мм (8...10 витков), защищенной стойким антикоррозионным покрытием. Стойки с подкосами и деревянные приставки с ригелями соединяют болтами, железобетонные приставки с ригелями — шпильками.

Деревянные опоры воздушных линий унифицированы, основные характеристики их приведены в справочной литературе [6]. Опоры допускают совместную подвеску от двух до восьми проводов марок А16...А50 и одновременно до четырех проводов радиотрансляционной сети. Расчетные пролеты принимают в зависимости от числа и марки монтируемых проводов и климатического района сооружения линий (табл. 6).

Таблица 6

Марка проводов	Число проводов	Расчетные пролеты (м) при											
		районе по гололеду											
		I, II				III				IV		особый	
		районе по ветру											
		I	II	III	IV	II	III	IV	III	IV	III	IV	
максимальной стреле провеса, м													
1,2						1,45							
А16	3	45	45	45	45	45	40	40	30	30	25	25	
	4					45	40	40	30	30	25	25	
	5					40	40	35	30	30	25	25	
	8					35	35	35	—	—	—	—	
А25	3	45	45	45	45	45	45	45	40	40	30	30	
	4					40	40	40	35	35	25	25	
	5					35	35	35	30	30	25	25	
	8					35	35	35	—	—	—	—	
А35	3	45	45	45	45	45	45	45	40	40	30	30	
	4					40	35	35	30	30	25	25	
	5					35	35	30	30	30	25	25	
	8					35	35	30	—	—	—	—	
А50	3	45	45	45	45	40	40	35	35	35	30	30	
	4					45	35	35	35	30	25	25	
	5					40	30	30	30	29	25	25	
	8					40	30	30	30	—	—	—	

Железобетонные опоры не подвергаются загниванию, срок службы их значительно больше деревянных. По способу уплотнения бетона опоры делятся на вибрированные и центрифугированные, по состоянию арматуры — на опоры с ненапряженной, с частично напряженной и полностью напряженной арматурой.

Железобетонные опоры изготавливаются типовыми, рассчитаны на подвеску пяти проводов сечением до 50 мм² и четырех проводов радиотрансляции. Их выполняют, как правило, одностоечными. Опоры всех типов в обычных грунтах закрепляют без устройства специальных фундаментов в сверленных котлованах диаметром 350...450 мм.

Глубина погружения основания зависит от типа опоры, ее высоты, числа укрепленных на ней проводов, категории грунта, а также от способа проведения земляных работ и должна быть не менее указанной в таблице 7.

Таблица 7

Характеристика грунта	Общее максимальное сечение проводов на опоре, мм ²	Глубина погружения основания деревянной опоры без ригелей при высоте ее от поверхности земли, м			
		до 8,5		11...12	
		Разработка грунта ручным способом		Разработка грунта механизированным способом	
Суглинки, супеси и глины, насыщенные водой, при расчетном напряжении на грунт $1 \cdot 10^5$ Па (1 кгс/см ²)	150	1,8	2,1	1,6	1,7
	300	2,3	2,5	1,8	2,0
	500	2,7	2,9	2,0	2,3
Глины, суглинки и супеси естественной влажности, песок мокрый мелкий при расчетном напряжении на грунт $1,5...2,0 \cdot 10^5$ Па (1,5...2,0 кгс/см ²)	150	1,5	1,8	1,4	1,5
	300	1,9	2,2	1,6	1,8
	500	2,3	2,5	1,8	2,1
Глина плотная, глина с галькой и валунами, галька с песком, щебень, скальный грунт при расчетном напряжении на грунт $2,5 \cdot 10^5$ Па (2,5 кгс/см ²)	150	1,3	1,6	1,2	1,3
	300	1,7	2,0	1,4	1,6
	500	2,1	2,2	1,6	1,9

Расчет проводов, изоляторов и арматуры ВЛ ведут по допустимым напряжениям от воздействия нагрузок, определяемых механическим и электрическим расчетом ВЛ. Максимальные напряжения в проводах и расчетные пролеты выбирают по таблицам, приведенным в СНиП [22].

Изоляторы. На ВЛ применяются одно- и многошейковые штыревые изоляторы (ШФН-1, ШФН-2, ШФН-3, ШФН-4, ТФ-12, ТФ-16, ТФ-20, РФ-10, РФО-12, РФО-16). В последние годы широкое применение находят изоляторы из закаленного стекла (НС-16, НС-18).

Изоляторы крепят к траверсам и стойкам опор при помощи крюков или штырей (крюки КН-12...КН-20, штыри С-12...С-16, Д-12...Д-16). Изоляторы прочно навертывают на крюки или штыри с наклей, пропитанной суриком на олифе. Применяют также насадку на специальные полиэтиленовые колпачки. Для предохране-

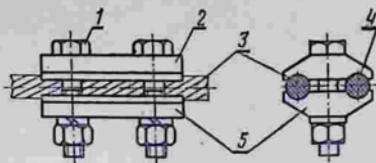


Рис. 32. Болтовой плащечный зажим для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов:

1 — стяжной болт; 2 и 5 — плашки; 3 и 4 — соединяемые провода.

ния от коррозии крюки, штыри, металлические части траверсы, кронштейнов окрашивают асфальтовым лаком.

Крепление проводов на штырях изоляторах выполняют проволочными вязками или специальными зажимами. Вязальная проволока должна быть из такого же материала, что и провод ВЛ. Диаметр стальной вязальной проволоки должен быть не менее

2...2,7 мм, алюминиевой — 2,5...3,5 мм. Крепления провода к изолятору выполняют в соответствии с проектным решением для каждой ВЛ в отдельности.

Провода. Применяют главным образом алюминиевые провода. При небольших электрических нагрузках находят применение стальные одно- и многопроволочные провода. По условию механической прочности могут применяться алюминиевые провода сечением не менее 16 мм², сталеалюминиевые провода сечением не менее 10 мм² и оцинкованные стальные однопроволочные провода диаметром 4...5 мм. Стальные многопроволочные провода должны иметь сечение не менее 25 мм². На ответвлениях к вводам разрешается применять оцинкованные провода марки ПСОЗ и изолированные провода марок АВТ1, АВТ2 и АПР.

Соединение проводов — весьма ответственная операция, от качества которой в значительной мере зависит надежность работы линии электропередачи. Высокие механические и электрические характеристики соединений должны оставаться неизменными в течение всего времени работы ВЛ. Для обеспечения такого требования провода соединяют только рекомендованными методами и делают это электромонтеры, прошедшие специальную подготовку, сдавшие испытания и имеющие удостоверение на право выполнения этой работы.

Соединяя однопроволочные провода, их скручивают, а затем паяют. Многопроволочные провода в пролете соединяют при помощи специальных унифицированных овальных соединителей СОА или болтовых плащечных зажимов типа ПАБ-1-1 и ПАБ-2-1 (рис. 32). Провода из разных материалов или разных сечений допускается соединять только на опорах при помощи переходных зажимов. При этом соединения не должны испытывать механических усилий.

Провода марок АС10...АС95 имеют однопроволочный стальной сердечник. Вследствие значительной жесткости стального сердечника соединение этих проводов овальным соединителем с обжатием не дает волны на проводе, в результате чего прочность заделки провода получается недостаточной и отмечались случаи выкалывания проводов из соединителей. Поэтому провода марок

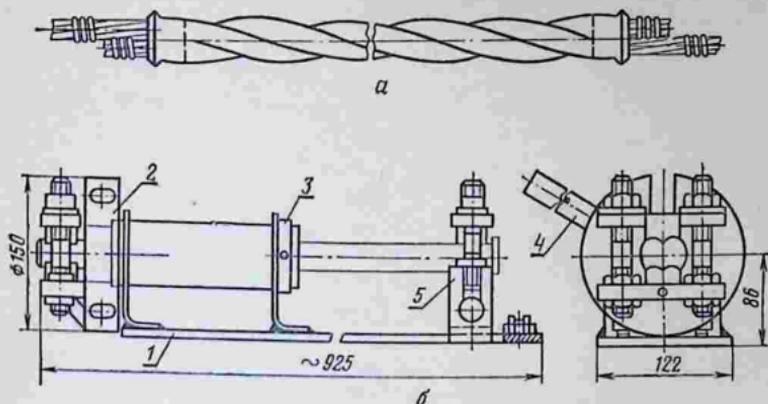


Рис. 33. Соединение проводов овальным соединителем методом скрутки:

а — выполненное соединение; *б* — приспособление для скручивания соединителя; 1 — корпус; 2 — передняя головка; 3 — упор; 4 — рычаг; 5 — задняя головка.

АС10...АС185 и А16...А95 соединяют при помощи овальных соединителей типа СОАС-Х-2А (Х — сечение провода: 10,16 мм² и т. д.). Монтаж соединителей осуществляют при помощи приспособлений МИ-189А и МИ-230А.

Овальные соединители непосредственно перед монтажом подготавливают: внутреннюю и наружную поверхность их очищают от грязи тряпкой, смоченной в бензине; стальным ершом под слоем защитной смазки ЗЭС или технического вазелина зачищают внутреннюю поверхность до появления металлического блеска. Концы соединяемых проводов, равные полоторной длине соединителя, тщательно очищают от грязи. Подготовку проводов, соединителей и само соединение проводов нужно выполнять быстро.

Подготовленные провода вкладывают в соединитель. На выступающие концы провода накладывают бандаж (длина концов должна быть 20...40 мм). Затем приспособлением МИ-189А (для проводов сечением до 25 мм²) или МИ-230А (для проводов сечением 50 мм² и выше) скручивают соединитель на 4...4,5 оборота (рис. 33).

Ответвления, выполненные стальными проводами ПСОЗ и ПСО4, присоединяют к магистралям, выполненным алюминиевыми проводами А16...А50 или биметаллическими проводами марки БСА10...БСА25 при помощи прессуемых зажимов типа ОАС-1 (рис. 34). Вводы в здания, выполненные изолированными алюминиевыми проводами сечением 4,0...10 мм², присоединяют к ответвлениям, выполненным стальными проводами ПСОЗ или ПСО4, при помощи зажимов типа ОАС-2. Корпус зажима опрессовывают шестигранными матрицами на гидравлическом прессе МИ-2А либо клещами МИ-19А или МИ-225. К магистральной линии провода

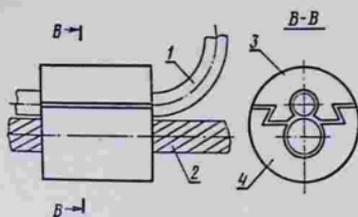


Рис. 34. Присоединение ответвления жабимом ОАС:

1 — провод ответвления; 2 — провод магистрали; 3 и 4 — верхняя и нижняя половины жабима.

можно присоединять бандажную вязкой, которую для надежного контакта пропанявают.

Заземляющие устройства. На линиях 380/220 В с глухозаземленной нейтралью, кроме заземления нулевого провода на трансформаторной подстанции, выполняют следующее:

а) устанавливают заземляющие устройства в населенной местности через каждые 200 м (для районов со среднегодовым числом гроз до 40), на конечных опорах линий, на вводах в помещения, имеющие большую хозяйственную ценность (животноводческие, птицеводческие и др.);

б) заземляют крюки и штыри на всех опорах, где имеется повторное заземление нулевого провода, а также на опорах с ответвлениями к вводам в помещения, где может быть сосредоточение людей (школы и др.);

в) соединяют с заземленным нулевым проводом арматуру железобетонных опор и установленные на них штыри и крюки фазных проводов.

Общее сопротивление повторных заземляющих устройств на каждой линии должно быть не более 10 Ом для электроустановок напряжением 380/220 В и 20 Ом для электроустановок 220/127 В. Однако сопротивление каждого повторного заземления должно быть не более 30 и 60 Ом для электроустановок соответственно напряжением 380/220 В и 220/127 В. Если удельное сопротивление земли ρ более 100 Ом·м, допускается повышать приведенные значения сопротивлений повторных заземляющих устройств в $\frac{\rho}{100}$ раз, но не более чем в 10 раз. Значения сопротивлений заземляющих устройств должны быть обеспечены в любое время года с учетом сезонного изменения проводимости грунта.

Заземляющее устройство выполняют из глубинных или протяженных (рис. 35) заземлителей, соединенных проводниками. Заземлители изготавливают из стали: круглой диаметром не менее 6 мм, полосовой сечением не менее 48 мм² и толщиной 4 мм и угловой с толщиной полок не менее 4 мм. При изготовлении протяженных заземлителей стальную катанку диаметром 6...8 мм прокладывают в траншеях лучами на глубине 0,5...1,0 м. Траншеи роют экскаватором, а при небольшом объеме работ — вручную.

Широко используется способ закладки контуров заземления в котлованы опор. При этом стальную катанку заземлителя наматывают на нижнюю часть железобетонной приставки и опускают вместе с опорой в пробуренный котлован на глубину до 2 м. Глубинные заземлители погружают в грунт путем ввертывания, вдавливания или забивания. Последние способы предпочтительнее, так

как при них меньше разрушается грунт и обеспечивается лучший контакт с заземлителем. Ввертывают заземлители в грунт при помощи специальных электродрелей или механического привода вала отбора мощности трактора.

Заземляющие провода присоединяют к заземляющим устройствам на глубине 0,5...0,7 м ниже уровня земли сваркой внахлестку. Длина нахлестки должна составлять не менее двойной ширины прямоугольного проводника. При круглом сечении длину нахлестки делают равной шести диаметрам проводника.

Заземляющие провода к нулевому проводу присоединяют болтами. Заземляющий спуск на опорах выполняют стальным проводом диаметром не менее 6 мм.

Трассы воздушных линий.

Проектирование трасс обычно ведут на основе визуальных изысканий. Вынос трассы в натуру и закрепление центров опор осуществляет заказчик.

Трассы ВЛ могут проходить в любой местности и иметь сближения с инженерными сооружениями (железными дорогами, мостами, линиями связи) или пересекать их. Однако они должны располагаться таким образом, чтобы не загораживать входов в здания, въездов во дворы и не затруднять движение транспорта и пешеходов. В местах, где имеется опасность наезда транспорта на опоры, последние защищают отбойными тумбами. При прохождении ВЛ по лесным массивам и зеленым насаждениям вырубать просеку не обязательно. Но при наибольшей стреле провеса расстояние от проводов до кустов, деревьев и прочей растительности должно быть не менее 0,5 м.

На каждой опоре на высоте 2,5...3,0 м от земли наносят порядковый номер и год установки опоры. На опорах допускается любое

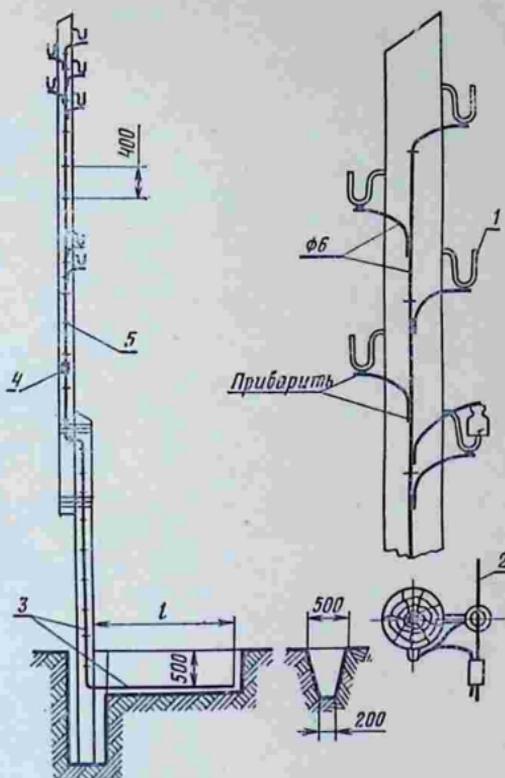


Рис. 35. Заземление крюков и нулевого провода при помощи протяженного заземлителя: 1 — крюк; 2 — нулевой провод; 3 — заземляющий спуск; 4 — плашечный зажим; 5 — скоба; l — длина заземлителя.

расположение проводов независимо от района климатических условий. Нулевой провод, как правило, располагают ниже фазных проводов. Провода наружного освещения прокладывают совместно с проводами ВЛ, но располагают под нулевым проводом.

Расстояние между проводами устанавливают в зависимости от района гололедности и длины пролета. Так, на ВЛ в I, II и III районах гололедности вертикальное расстояние между проводами на опорах должно быть не менее 40 см, а горизонтальное при пролетах более 30 м — не менее 30 см.

Горизонтальное расстояние между проводами при спусках на опорах должно быть не менее 15 см, а расстояние от провода до элементов опоры — не менее 5 см. На опорах допускается совместно подвешивать сети напряжением 380/220 В с проводами радиотрансляционной сети. При этом провода ВЛ располагают над проводами радиотрансляции и расстояние от нижнего провода ВЛ до верхнего провода радиотрансляции должно составлять не менее 1,5 м, а в пролете — 1,0 м.

Расстояние от проводов при наибольшей стреле провеса до поверхности земли в проезжей части улиц и дорог должно быть не менее 6 м. На ответвлениях к вводам в здания расстояние от проводов до тротуара и пешеходных дорожек может быть уменьшено до 3,5 м. Если невозможно соблюсти указанные расстояния, у здания устанавливают дополнительную опору.

Над зданиями провода тянуть нельзя, за исключением спусков к вводам. Наименьшие допустимые расстояния по горизонтали и вертикали от ВЛ до ближайших сооружений нормируются ПУЭ и СНиП.

Детали деревянных опор и железобетонные приставки транспортируют на трассу на обычных лесовозах, железобетонные опоры — на опоровозах специальной конструкции.

Для разработки котлованов под опоры используют различные землеройные машины и механизмы. Наибольшее распространение получил метод разработки котлованов бурильными машинами, позволяющий выполнять эти работы с высокой производительностью, выемкой малого объема земли, а также уплотнять шнеками стенки котлованов, что обеспечивает надежное закрепление опор в них. Для бурения котлованов под промежуточные опоры применяют бурильно-крановые машины типов БКГМ, БКГО, БКО, ГБС, ямобуры различных конструкций и др.

Собранные одноствоечные опоры устанавливают при помощи автокранов или бурильно-крановых машин. Для установки опор автокраном на опоре закрепляют трос немного выше центра тяжести, а ниже крепят регулировочные оттяжки. Поднятую опору направляют стрелой крана к котловану. Нижнюю часть опоры подтягивают оттяжками и опору опускают. После выверки опоры вдоль и поперек оси трассы опору закрепляют в грунте, засыпая грунт в пазухи котлована. При этом утрамбовывают каждый слой.

Наклоны опор вдоль или поперек трассы значительно снижают

прочность их ствола. У железобетонных опор при этом образуются трещины, и влага проникает к арматуре. Поэтому отклонение опор от вертикального положения строго регламентируется и для деревянных может быть не более 1 : 150, а для железобетонных — 1 : 100 (отношение отклонения верха опоры к ее высоте).

Способ раскатки проводов зависит от характера трассы линии электропередачи. Применяют раскатку с движущихся раскатных тележек с барабанами проводов, с заякоренных барабанов и вручную. Первый из этих способов наиболее производительный и, кроме того, сохраняет провода от возможного повреждения их о землю.

Для подъема проводов на траверсы используют телескопические вышки или шесты и веревки, набрасываемые на крюк изолятора. Каждый провод натягивают в отдельности трактором или автомобилем. Стрелы провеса проводов определяют в зависимости от длины пролета и от температуры воздуха во время монтажа. Натяжение проводов по стрелам провеса контролируют визуально по горизонтальным реечным визирам, устанавливаемым на опорах, и, кроме того, тщательно проверяют габариты ВЛ — расстояния от проводов линии до земли и других инженерных сооружений.

Приемка линии в эксплуатацию. По окончании работ по сооружению воздушной линии, которая будет передана для эксплуатации предприятию электрических сетей, руководство предприятия электросетей назначает рабочую комиссию по приемке воздушной линии в эксплуатацию. В состав комиссии входят представители предприятия электрических сетей (председатель комиссии), подрядчика, субподрядчика, проектной организации, профсоюзной организации предприятия электросетей. В состав комиссии могут входить представители других заинтересованных организаций. Рабочая комиссия проверяет следующие документы:

- 1) рабочий проект ВЛ с изменениями, внесенными в процессе строительства и согласованными с проектной организацией;
- 2) исполнительную схему сети с указанием марок и сечений проводов, типов опор, защитных заземлений и т. д.;
- 3) акты приемки переходов и пересечений;
- 4) акты на скрытые работы по устройству заземлений и заглублений опор;
- 5) документ об отводе земельного участка;
- 6) протоколы измерений сопротивления заземляющих устройств;
- 7) паспорт линии.

Непосредственно перед сдачей в эксплуатацию вновь сооруженной или вышедшей из капитального ремонта ВЛ проверяют техническое состояние и соответствие линии проекту, равномерность распределения нагрузки по фазам, стрелы провеса и расстояния до земли и на пересечениях.

После принятия линии рабочей комиссией и ликвидации всех недоделок ВЛ представляют Государственной приемочной комиссии, назначаемой организацией, за счет средств которой она строилась. В состав Государственной приемочной комиссии входят пред-

ставители заказчика, генерального подрядчика, районного энергетического управления и профсоюзной организации заказчика.

Государственная приемочная комиссия на основании осмотра воздушной линии, актов рабочей комиссии, технической документации и ряда других дополнительных документов определяет качество работ, соответствие их проекту и возможность сдачи ВЛ в эксплуатацию. После включения ВЛ под напряжение и нормальной работы ее в течение суток Государственная приемочная комиссия подписывает акт приемки воздушной линии в эксплуатацию.

§ 2. Техника безопасности при сооружении воздушных линий

Расчистка трассы. Если трассу расчищают с вырубкой и валкой деревьев, то за работой наблюдает специально выделенное лицо. К рубке и переноске леса допускаются рабочие не моложе 18 лет. Запрещается расчищать трассу при сильном ветре, тумане и с наступлением сумерек. Расстояние между отдельными группами рабочих, занятых валкой деревьев, должно быть не менее 50 м. Во избежание неожиданного падения деревьев в первую очередь нужно сваливать подгнившие и непрочные стоящие деревья. Запрещается валить деревья группами, предварительно подпиливая их так, чтобы они падали одно на другое. Нельзя подрубать дерево с нескольких сторон и оставлять без охраны подрубленные, недопиленные и нависшие деревья. При валке вблизи дорог, пешеходных трасс необходимо устанавливать сторожевые посты предупреждения.

Рытье котлована. Котлованы, как правило, роют механизмами. К управлению этими механизмами допускаются машинисты, прошедшие специальное обучение. Не разрешается находиться в зоне работы стрелы экскаватора, а также вблизи вращающегося бура. При силе ветра 7...8 баллов работать с механизмами запрещается.

Подъем и установка опор. Перед началом работ осматривают подъемные и тяговые механизмы и убеждаются в их исправности. Все подъемные и тяговые механизмы и вспомогательные приспособления для них нужно систематически подвергать испытаниям согласно установленным срокам. Необходимо проверять надежность заделки в землю якорей. Следует периодически проверять знание рабочими сигналов, которыми управляется работа механизмов.

При подъеме опор, а также грузов на опоры рабочим запрещается находиться под опорой или под натянутыми тросами и расчалками. Должна быть исключена возможность травмирования людей в случае падения опоры, груза, обрыва тросов и повреждения тяговых приспособлений. Перед подъемом опоры надлежит проверить прочность крепления троса к крану и опоре.

Вручную при помощи багров и ухватов разрешается поднимать только одностоечные деревянные опоры. Ухваты применяют для подпора вершины поднятой опоры, а багры — для предупреждения

падения опоры в сторону. Применять вместо них лопаты, колья и другие подобные приспособления запрещается. Прекращать поддержку поднятой опоры ухватками и баграми разрешается только после того, как основание опоры будет надежно закреплено, а котлован полностью засыпан и утрамбован. Оставлять на весу поднимаемые опоры не разрешается. Нельзя прекращать работ по засыпке котлованов с установленной опорой до полного окончания засыпки и трамбовки.

Монтаж проводов. Все лица, занятые раскаткой, подъемом и натяжением проводов, должны знать сигналы и команды. При ручной раскатке на каждого рабочего должно приходиться не более 50 кг провода. Необходимо следить за тем, чтобы во время раскатки провод не зацеплялся за посторонние предметы и на нем не возникали барашки и резкие перегибы, что может привести к обрыву провода и травмированию работающих.

До начала работ, связанных с подъемом электро монтажников на опоры, мастер проверяет пригодность к работе когтей, предохранительных поясов, лестниц, блоков, веревок и т. д. и лично убеждается в прочности закрепления опоры. Подниматься на деревянные и железобетонные опоры и спускаться с них разрешается только с применением когтей или специальных лазов, надетых на обе ноги, и предохранительного пояса. Поднявшись на нужную высоту опоры, монтер обязан прежде всего закрепиться на ней предохранительным поясом. Работу выполняют, стоя на обоих когтях.

Запрещается работать, а также подниматься и опускаться с той стороны опоры, на которой натягиваются провода, а на угловой опоре — со стороны внутреннего угла. Поднимать на опору тяжелые предметы на руках запрещается. Эту работу следует выполнять при помощи веревки и блока, установленного на вершине опоры, тяговое усилие должно создаваться людьми, находящимися на земле. Таким же образом можно поднимать на опоры провод. Поднимать провод на руках запрещено. Сбрасывать с опоры инструмент и другие предметы можно только при отсутствии около опоры людей. Запрещается находиться под опорой, когда на ней работают.

При натяжении проводов под ними не должны находиться люди. Отдельные участки ВЛ большой протяженности рекомендуется закорачивать и заземлять. В грозовой период года необходимо заземлять монтируемую линию с обеих сторон.

Если монтируемая линия проходит под воздушной линией более высокого напряжения, то пересекаемую линию можно не отключать. Для исключения возможности соприкосновения проводов монтируемой и действующей линий натягиваемый провод поднимают на опоры строящейся линии при помощи веревок. Концы веревок надежно закрепляют за анкеры, вбитые в землю. Провода смонтированного перехода после окончания работ должны быть заземлены по обе стороны от пересеченной линии.

Монтаж проводов через действующие линии связи можно выполнять только после устройства защитной сетки или каната, которые натягивают между временными опорами, установленными по обе стороны пересекаемых проводов.

Антисептические составы, применяющиеся для предохранения деревянных опор от загнивания, представляют собой токсичные вещества. Люди, занятые антисептированием опор, погрузкой, разгрузкой и транспортировкой леса, пропитанного антисептиками, должны работать в брезентовых костюмах, кожаной обуви и в брезентовых рукавицах. Брюки нужно заправить в сапоги, при работе в ботинках концы брюк следует завязывать тесемками. Перед началом работ на свежeproпитанных опорах открытые или недостаточно защищенные части тела работающего необходимо покрывать специальной предохранительной пастой.

Антисептик, попавший на поверхность тела, нужно удалить чистым сухим ватным тампоном. Пораженный участок следует тщательно вымыть водой. После окончания работ рабочие должны снять с себя спецодежду, стереть предохранительную пасту чистой сухой тряпкой, а затем вымыться с мылом под горячим душем.

Глава V

МОНТАЖ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

§ 1. Общие требования и правила при сооружении кабельных линий электропередачи

Проектирование и сооружение кабельных линий ведут на основе технико-экономических расчетов. Трассу линии выбирают с учетом наименьшего расхода кабеля, избегая по возможности участков с агрессивными грунтами, содержащими химические вещества, разрушающие стальную броню и оболочку кабеля. Только строгое соблюдение установленных правил прокладки кабелей может служить гарантией надежности работы кабельной линии.

Кабели можно прокладывать в туннелях, каналах, блоках, траншеях и подземных лотках. Внутри зданий кабельные линии можно прокладывать непосредственно по конструкциям зданий.

В сельской местности распространена наиболее экономичная по капитальным затратам прокладка кабелей в земле. Кабели укладывают в специально вырытые траншеи глубиной 0,7 м, а на пересечении улиц — глубиной 1,0 м. При параллельной прокладке нескольких кабелей в одной траншее расстояние между ними по горизонтали должно быть 100 мм. Расстояние между контрольными кабелями не нормируется.

Во избежание вмятин и повреждений верхней оболочки кабелей на дне траншеи создают мягкую подушку толщиной до 100 мм, а сверху насыпают слой мелкой земли или песка, не содержащих камней и строительного мусора (рис. 36). В местах возможных механических повреждений, например в местах частых раскопок,

кабель защищают (покрывают) рядом кирпича. Для рытья траншей применяют многоковшовый экскаватор, а для засыпки — бульдозер. Грунт утрамбовывают самоходной вибрационно-трамбующей машиной или самоходными катками.

Для прокладки в земле применяют бронированные кабели, защищенные от коррозии джутово-битумным покровом или поливинилхлоридной оболочкой. Кабель укладывают в траншею змейкой с запасом по длине 1...3% на случай возможных смещений почв и температурных деформаций. Радиусы внутренней кривой изгиба кабелей для устранения возможности повреждения изоляции должны иметь по отношению к их наружному диаметру кратности не менее 25 для силовых одножильных с бумажной пропитанной изоляцией, 15 для многожильных в алюминиевой оболочке, 10 для кабелей с резиновой изоляцией и 6 для небронированных кабелей.

При пересечении кабельными линиями автомобильных и железных дорог кабели прокладывают в блоках или трубах. Минимальные расстояния кабелей до инженерных и прочих сооружений должны быть не менее следующих:

- при параллельной прокладке с автомобильными дорогами 1 м;
- в зоне лесонасаждений от стволов деревьев 2 м;
- при параллельной прокладке с ВЛ напряжением 110 кВ и выше 10 м.

Кабель можно укладывать в траншею вручную или механизированным способом. Кабельный барабан устанавливают на домкраты, а кабель перемещают вручную или лебедкой по специальным роликам, устанавливаемым на две траншеи.

В населенных пунктах целесообразно укладывать кабели в блоках из керамических или асбоцементных труб. Внутри помещений кабели можно прокладывать открыто на скобах или хомутах по конструкции зданий. Расстояние между соседними креплениями кабеля составляет 0,8...1,0 м при горизонтальной и до 2 м при вертикальной прокладке. Кабели применяют без наружных защитных покровов из горючих волокнистых материалов. При открытой прокладке кабели защищают от непосредственного действия солнечных лучей и других теплоизлучений.

Наружную поверхность свинцовой оболочки кабеля покрывают битумом или окрашивают. Расстояние между силовыми кабелями в свету должно быть не менее 35 мм. В местах, где возможны ме-

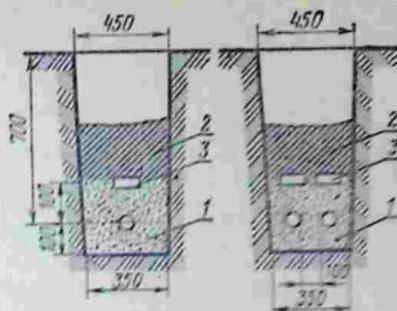


Рис. 36. Разрез траншеи при прокладке кабелей:

1 — песок или просеянная земля; 2 — грунтовая земля; 3 — кирпич.

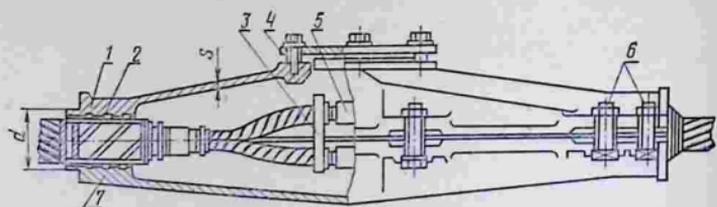


Рис. 37. Соединительная муфта типа С4:

1 — верхняя полумуфта; 2 — подмотка из смоляной ленты; 3 — изоляционная распорка; 4 — крышка; 5 — соединительная гильза; 6 — стягивающий болт; 7 — нижняя полумуфта.

ханические повреждения, кабели защищают стальными трубами или отрезками угловой стали. В помещениях применяют также скрытую прокладку кабелей в каналах или в стальных трубах. Сверху каналы закрывают негорючими плитами.

Во всех случаях кабели рекомендуется прокладывать при положительных температурах. При отрицательных температурах бумажная и пластмассовая изоляция становится неэластичной и при размотке кабелей с барабанов может быть повреждена. Кабели с бумажной изоляцией и нестекающей пропиткой на основе церезина (ЦАСБ, ЦААБ и т. д.) нужно прокладывать при температуре не ниже $+5^{\circ}\text{C}$ (278 К). Для кабелей с резиновой изоляцией минимальная температура прокладки составляет -15°C (258 К). При более низких температурах кабели перед прокладкой следует прогревать, например, на барабанах электрическим током и т. п.

Все соединения и ответвления кабелей делают в чугунных и эпоксидных муфтах, которые защищают кабель от попадания влаги и предохраняют от механических повреждений. Соединения выполняют специально обученные электромонтажники-линейщики, имеющие квалификацию не ниже 4 разряда.

Чугунная муфта состоит из двух полумуфт (верхняя, нижняя), соединяемых болтами (рис. 37). Кабель разделяют, снимают слой защитных оболочек. Токоведущие жилы соединяют опрессовкой, термитной сваркой или пайкой, затем изолируют. После завершения монтажа муфту через отверстие в верхней половине заливают разогретой битумной массой марки МБ-70 (в земле) или МБ-90 (внутри сооружений).

Различают два основных вида оконцевания кабелей: внутри помещений (концевые заделки) и вне помещений (концевые муфты). Внутри помещений лучше заделывать кабель эпоксидным компаундом. Применяют заделки при помощи свинцовых, резиновых, поливинилхлоридных перчаток, а также сухие заделки при помощи поливинилхлоридных лент и стальных воронок, заливаемых битуминозной массой.

Сухие концевые заделки типа КВВ при помощи поливинилхлоридных лент и лаков (рис. 38) применяют в сухих помещениях при

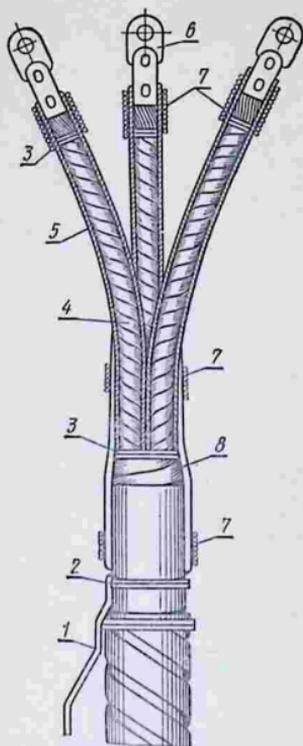


Рис. 38. Концевая заделка типа КВВ:
 1 — провод заземления; 2 — проволочный бандаж; 3 — бандаж из хлопчатобумажной пряжи; 4 — жила в заводской изоляции; 5 — подмотка по жилам; 6 — наконечник; 7 — бандаж из синтета; 8 — подмотка из поливинилхлоридных лент.

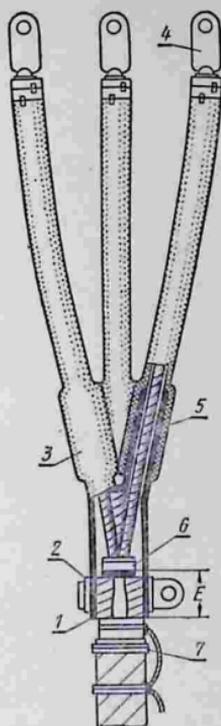


Рис. 39. Концевая заделка типа КВР:
 1 — уплотнение маслястойкой резиновой лентой; 2 — подмотка прорезиненной лентой; 3 — перчатка; 4 — наконечник; 5 — резиновая трубка; 6 — полная изоляция кабеля; 7 — проволочный бандаж.

разности уровней концов кабеля до 5 м. Концевые заделки в резиновых перчатках типа КВР (рис. 39) выполняют без заполнения. Для герметизации заделки сверху пальцы резиновой перчатки приклеивают к резиновым трубкам, надеваемым на жилы кабеля, в нижней части перчатку приклеивают к оболочке кабеля и уплотняют хомутом.

Все проложенные кабели, а также соединительные муфты и концевые заделки снабжают бирками. На бирках для кабелей указывают марку, напряжение, наименование кабельной линии, а на бирках для муфт и заделок — номер, дату монтажа и фамилии монтажников, выполнивших монтаж.

Трассу кабельной линии наносят на план местности, координаты трассы привязывают к существующим объектам или к специ-

ально установленным знакам, на плане указывают расположение кабельных муфт. На территории предприятий кабельные трассы рекомендуется обозначать пикетами через каждые 100 м.

Перед сдачей в эксплуатацию проверяют целость жил, правильность присоединения одноименных фаз с обоих концов кабельной линии (фазировку). Затем при помощи мегомметра на напряжение 2500 В измеряют сопротивление изоляции всех жил. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

§ 2. Ввод кабельной линии в эксплуатацию

После окончания всех строительных и монтажных работ кабельную линию предъявляют к сдаче. Для приемки линии в эксплуатацию создается комиссия, в которую входят представители заказчика, монтажной и эксплуатирующей организаций. Сооруженная кабельная линия должна удовлетворять требованиям ПУЭ и СНиП. Комиссия знакомится с технической документацией на проложенный кабель и актами на скрытые работы, проверяет трассу кабеля и проводит ряд испытаний.

Техническая документация, предъявляемая заказчиком приемной комиссии, содержит следующее:

- 1) проект кабельной линии;
- 2) перечень отклонений от проекта с указанием причин и согласований с проектной организацией;
- 3) исполнительные чертежи трассы, выполненные в масштабе не менее 1 : 500, с нанесением координат трассы и муфт;
- 4) акты на скрытые работы, в том числе акты на пересечения и сближения со всеми подземными коммуникациями на осмотр кабеля в траншеях перед закрытием;
- 5) акты на осуществление антикоррозионных мероприятий и защиты от блуждающих токов;
- 6) акты о состоянии концевых заделок кабелей на барабанах;
- 7) протоколы испытаний кабельной линии после прокладки.

При положительных результатах испытаний в кабельную линию с одной стороны подают рабочее напряжение и при помощи фазировочного устройства проверяют соответствие фаз кабеля маркировке присоединяемого оборудования.

§ 3. Техника безопасности при монтаже кабельной линии

Перед началом земляных работ с рабочими проводят инструктаж, во время которого их знакомят с трассой, способом укладки кабеля, условиями выполнения работ, с участками, опасными с точки зрения техники безопасности (места интенсивного движения транспорта, близко расположенные электроустановки, находящиеся под напряжением, и т. п.).

Вблизи действующих кабелей рыть траншеи нужно с особой осторожностью, а начиная с глубины 0,4 м — только при помощи

лопат, применять ломы и кирки запрещается. При рытье траншей одноковшовыми экскаваторами нельзя выполнять какие-либо работы со стороны забоя и находиться в зоне разворота стрелы экскаватора.

В грунтах естественной влажности с ненарушенной структурой при отсутствии грунтовых вод котлованы и траншеи глубиной до 1 м роют с вертикальными стенками без крепления. Если есть опасность обвала стенок, их необходимо укреплять щитами из досок с поперечными распорками.

При разгрузке барабанов с кабелем вручную их нужно спускать по наклонным следам, оттягивая тросом или канатом с противоположной стороны. Прежде чем перекачивать барабан, необходимо удалить все выступающие на нем гвозди, а концы кабеля закрепить. При укладке кабеля вручную рабочие должны находиться по одну сторону прокладываемого кабеля. В местах поворота не разрешается находиться между кабелем и траншеей. На углах и поворотах нельзя поддерживать кабель вручную. При переносе и укладке кабеля вручную на одного взрослого рабочего — мужчину должна приходиться часть кабеля массой не более 35 кг.

Разматывать кабель с барабанов можно лишь при наличии специального тормозного устройства; если этого устройства нет, следует применять для торможения прочную доску. Перекачивать барабаны и разматывать кабель можно только в рукавицах.

При прогреве кабеля электрическим током не допускается применять напряжение выше 250 В по отношению к земле. Нельзя присоединять или отсоединять прогреваемые кабели под напряжением независимо от значения напряжения используемого источника питания. При напряжении свыше 65 В корпуса источников питания (трансформаторы, сварочные аппараты и т. п.), а также броня прогреваемого кабеля должны быть надежно заземлены. Установки для обогрева и прогреваемый кабель должны находиться под надзором квалифицированного рабочего.

Перерезать броню кабеля следует специальной ножовкой. Разматывать броню нужно в рукавицах. Замасленные и пропитанные бензином обтирочные концы, а также отходы кабеля, образовавшиеся при его разделке (джутовая обмотка, бумажная изоляция и т. п.), в целях противопожарной профилактики нужно складывать в металлический ящик или убирать. При пайке необходимо пользоваться защитными очками и рукавицами. Электрическую сварку следует выполнять при напряжении 6...12 В.

Для разогревания кабельной массы необходимо пользоваться специальной кастрюлей с носиком. Во избежание взрывов категорически запрещается разогревать кабельные составы в закрытых банках. Разогретую кабельную массу нельзя доводить до кипения, ее нужно периодически перемешивать предварительно подогретой металлической ложкой или прутком. Применение сырых деревянных палок может быть причиной попадания влаги в массу и вследствие этого возникновения брызг. Опасность разбрызгивания горя-

чей массы существует при всех этапах работы с ней. Поэтому лицам, работающим с горячей массой, необходимо пользоваться специальными длинными рукавицами, защитными очками и застегивать одежду на все пуговицы. Запрещается передавать сосуд с разогретой кабельной массой из рук в руки. Для передачи сосуд нужно поставить на прочное основание — пол, землю и т. п.

Не допускается работа с разогретыми массами на высоте без соответствующего ограждения зоны возможного поражения внизу.

Эпоксидный компаунд представляет собой токсичный материал, вызывающий возникновение кожных заболеваний, раздражение глаз и верхних дыхательных путей. С эпоксидным компаундом необходимо работать в спецодежде, медицинских резиновых перчатках, защитных очках и респираторе. Эпоксидный компаунд, случайно попавший на кожу, нужно удалить бумажной салфеткой, после чего это место обработать 3%-ным раствором уксусной или лимонной кислоты или промыть горячей водой с мылом. Руки после мытья надо просушить, а затем смазать жирной мазью на ланолине, вазелине или касторовом масле.

Помещение, в котором ведутся работы по монтажу эпоксидных муфт, следует непрерывно вентилировать. В этом помещении запрещается курить и принимать пищу.

Глава VI

МОНТАЖ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ

§ 1. Типы трансформаторных подстанций

Трансформаторные подстанции предназначены для преобразования и распределения электрической энергии. По конструктивному исполнению они разделяются на мачтовые (столбовые), комплектные (КТП) и закрытые. На открытых мачтовых подстанциях оборудование устанавливают на опорах воздушных линий или на специальных высоких конструкциях. Комплектные трансформаторные подстанции состоят из трансформаторов и металлических шкафов-блоков, в которых находятся в полностью собранном виде элементы присоединения к сети высокого напряжения 35 и 6 кВ и элементы распределительного устройства напряжения 380 и 220 В. В закрытых трансформаторных подстанциях все оборудование устанавливается в здании.

Мачтовые трансформаторные подстанции имеют А-, П- или АП-образные конструкции, изготавливаемые из деревянных или железобетонных стоек. На базе А-образной конструкции (иногда на одностоечной опоре) выполняют однофазные трансформаторные подстанции мощностью 5...10 кВ·А (рис. 40). При этом А-образная конструкция одновременно может быть и концевой опорой воздушной линии высокого напряжения. На траверсе опоры монтируют разьеднитель, разрядник, ниже — предохранители и силовой

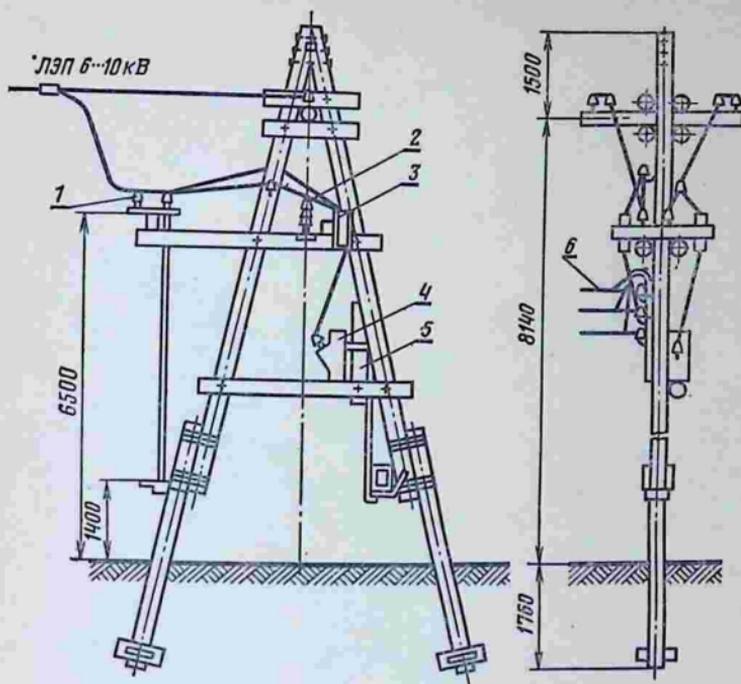


Рис. 40. Общий вид подстанции на А-образной деревянной опоре:

1 — разъединитель на 6...10 кВ с приводом; 2 — разрядник на 6...10 кВ; 3 — предохранители на 6...10 кВ; 4 — силовой трансформатор; 5 — распределительный шкаф на 380/220 В; 6 — воздушная линия на 0,38 кВ.

трансформатор. На уровне, удобном для обслуживания, расположен распределительный щит 0,23 кВ. Подстанции не имеют площадки для обслуживания силового трансформатора и высоковольтного оборудования.

Подстанции П-образной конструкции используют с трехфазными трансформаторами мощностью до 100 кВ·А включительно (рис. 41). Разъединитель устанавливают на концевой опоре линии высокого напряжения. На П-образной конструкции устанавливают разрядники, высоковольтные предохранители, силовой трансформатор, ниже, на уровне обслуживания, — распределительный щит 0,4 кВ. Для обслуживания высоковольтного оборудования и силового трансформатора сооружают специальную площадку. Для подъема на площадку предусмотрена лестница, закрываемая на замок в сложенном положении.

Конструкции АП-образной формы применяют для подстанций с трансформаторами мощностью 160 и 250 кВ·А (рис. 42). Аналогично на опоре размещают все оборудование и она же является концевой опорой высоковольтной линии.

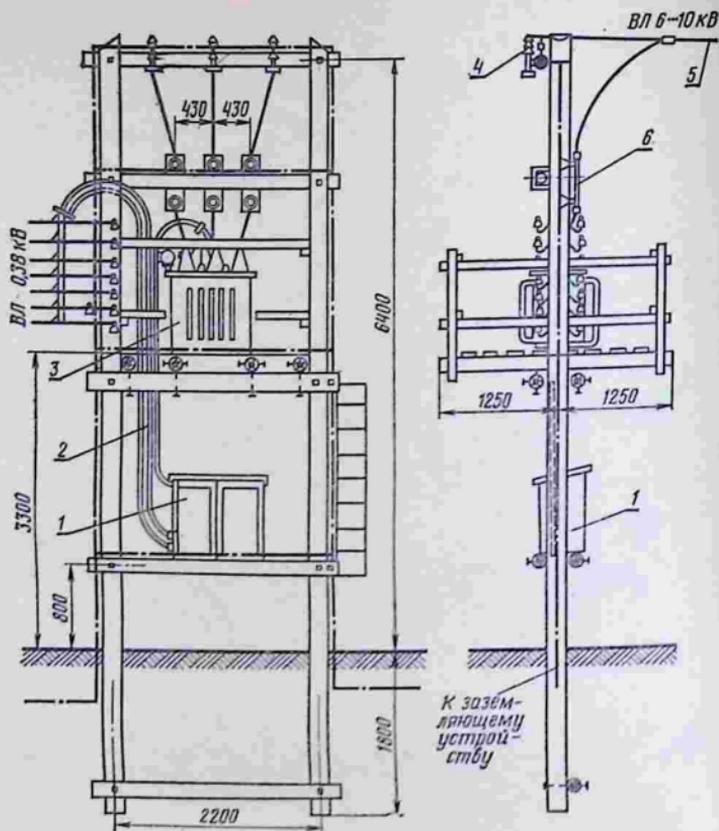


Рис. 41. Общий вид подстанции на П-образной опоре

1 — распределительное устройство на 0,38 кВ; 2 — трубы для проводов 0,38 кВ; 3 — силовой трансформатор; 4 — разрядник на 6...10 кВ; 5 — воздушная линия на 6...10 кВ; 6 — предохранитель на 6...10 кВ.

Наиболее широкое, преобладающее применение нашли комплектные трансформаторные подстанции (КТП). Туниковая КТП с воздушным вводом и трансформатором мощностью до 250 кВ·А приведена на рисунке 43. Разъединитель расположен на концевой опоре воздушной линии. Разрядники крепят снаружи задней стенки шкафа высоковольтных предохранителей, а ниже — силовой трансформатор. Рядом, на одном уровне с силовым трансформатором, устанавливают распределительный шкаф низкого напряжения. КТП устанавливают на двух (или четырех) железобетонных стойках. В качестве стоек используют типовые приставки ПТ опор воздушных линий длиной 3,25 м и 4,25 м или унифицированные стойки УСО-3А. Высота установки КТП над уровнем земли должна быть не менее 1,8 м, а расстояние от земли до высоковольтного ввода —

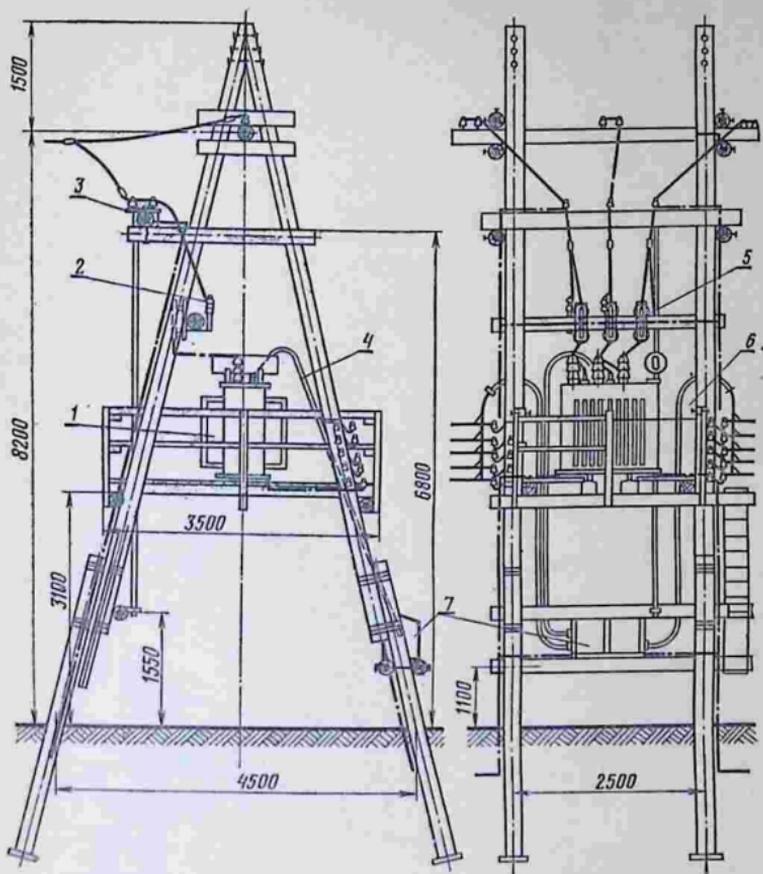


Рис. 42. Общий вид подстанции на АП-образной опоре:

1 — силовой трансформатор; 2 — разрядник на 6...10 кВ; 3 — разъединитель с приводом; 4 и 6 — трубы для проводов 380/220 В; 5 — предохранитель на 6...10 кВ; 7 — распределительные шкафы 380/220 В.

не менее 4,5 м. Ограждать КТП не обязательно. При расположении их в местах возможного скопления людей (школы и т. п.) их нужно ограждать.

Для удобства обслуживания на высоте 0,5...0,75 м от поверхности земли предусмотрена площадка, шарнирно соединенная со стойками, которую после окончания работ поднимают в вертикальное положение и запирают на замок.

Промышленность выпускает КТП проходного типа (КТПП) мощностью до 2×630 кВ·А с кабельными и воздушными вводами. КТПП представляет единый блок и состоит из низковольтного, высоковольтного и силового отсеков. В отсеке высоковольтного оборудования размещены выключатель нагрузки, разъединитель и

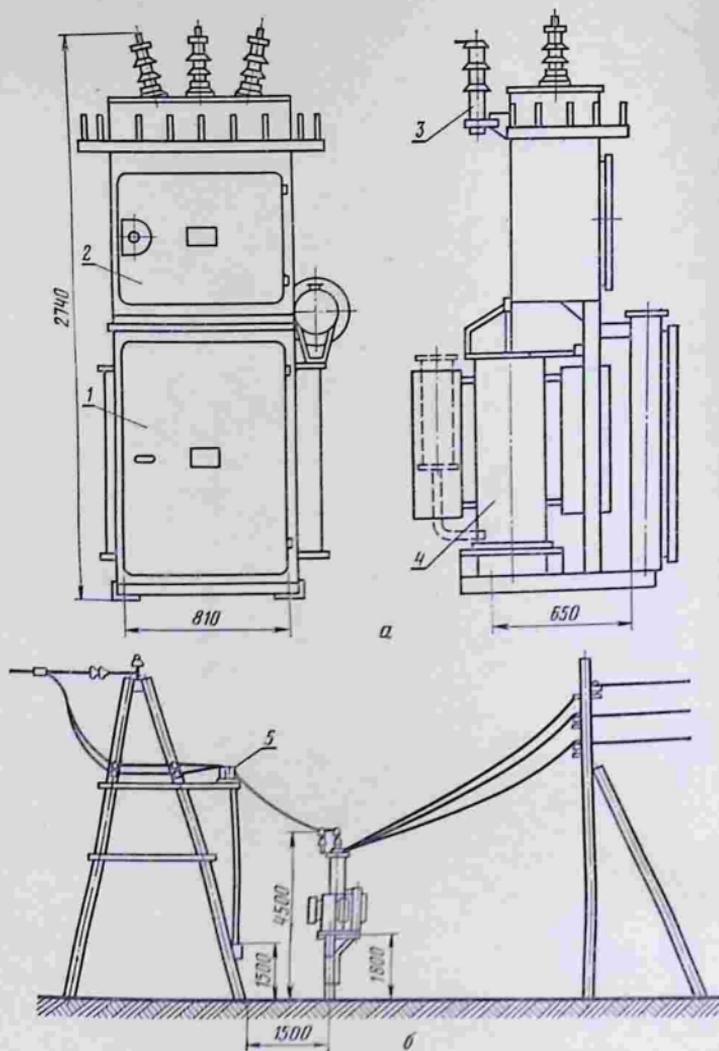


Рис. 43. Общий вид (а) в установке (б) комплектной подстанции КТП-160:

1 — распределительное устройство на 380/220 В; 2 — вводное устройство на напряжении 6...10 кВ; 3 — разрядник; 4 — силовой трансформатор; 5 — разрядник с приводом.

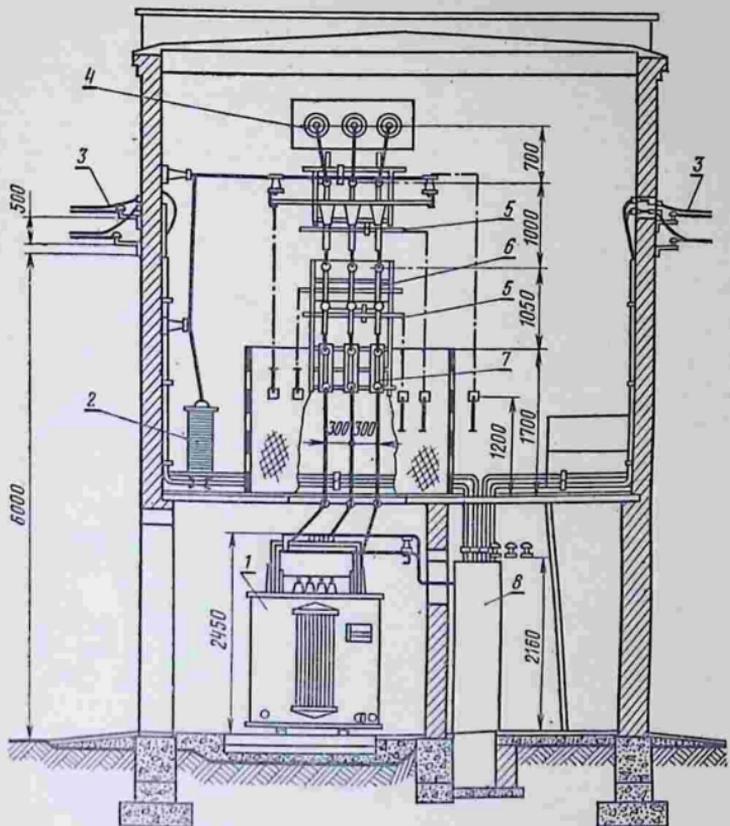


Рис. 44. Трансформаторная подстанция закрытого типа с воздушным вводом 20 кВ и двумя трансформаторами до 400 кВ·А каждый:

1 — силовой трансформатор; 2 — разрядник; 3 — выходы линий 0,38 кВ; 4 — вводы 20 кВ; 5 — вземляющие ножи; 6 — разъединитель; 7 — предохранители; 8 — распределительное устройство на 0,38 кВ.

вентильные разрядники. В зависимости от типа грунта и местных условий КТП устанавливают на фундаментах из железобетонных стоек УСО-5А, закрепленных в сверленных котлованах. КТП можно ставить на стойки типа УСО-4А или приставки ПТО-1,7-3,25, положенные горизонтально на песчаное основание. Этот вариант рекомендуется при скальных грунтах, при песчаных грунтах с крупной галькой и валунами, когда бурение котлованов затруднительно. Раму-основание КТП приваривают к железобетонным элементам фундаментов.

Закрытые трансформаторные подстанции применяют у ответственных сельскохозяйственных потребителей I и II категории с двухсторонним питанием (птицефабрики, животноводческие ком-

плексы и т. п.). Обычно это двухтрансформаторные подстанции с автоматическим включением резерва. Их размещают в кирпичном двухэтажном неотапливаемом здании (рис. 44). На первом этаже монтируют силовые трансформаторы и щит низкого напряжения, на втором — распределительное устройство высокого напряжения. Фундаменты под здание собирают из блоков серии ИИ-03-02 или выполняют ленточными бутобетонными. Покрытие и перекрытие выполняют из сборных железобетонных панелей.

В целях создания безопасных условий труда на подстанциях заземляют нейтраль обмоток низшего напряжения силового трансформатора. В соответствии с ПТБ заземляют также все металлические корпуса, кожухи оборудования и аппаратуры (разъединитель, выключатель, щиты низкого напряжения и т. д.), которые вследствие нарушения изоляции могут оказаться под напряжением. Сопротивление заземляющего устройства (Ом) при протекании по нему расчетного тока замыкания на землю I_3 в любое время года должно быть не более $R \leq \frac{125}{I_3}$, а сопротивление заземляющего устройства на подстанциях с учетом использования естественных и повторных заземлений нулевого провода на ВЛ до 1000 В должно быть не более 4 Ом для электроустановок 380/220 В и 8 Ом для электроустановок напряжением 220/127 В.

В качестве заземляющего устройства в первую очередь используют естественные заземлители (проложенные в земле металлические трубопроводы, металлические конструкции, оболочки кабелей и т. п.).

Контур заземления (заземляющее устройство) обычно выполняют из нескольких заземлителей (количество зависит от удельного сопротивления грунта в месте сооружения подстанции и требуемого сопротивления заземляющего устройства), представляющих

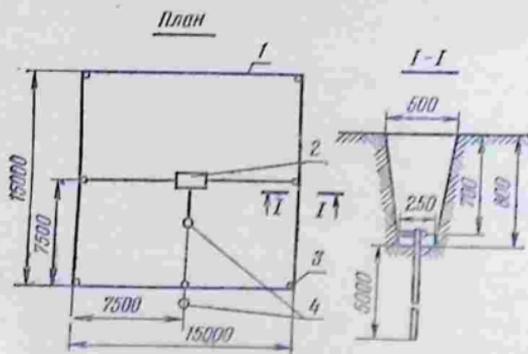


Рис. 45. Заземляющее устройство подстанции напряжением 10/0,4 кВ мощностью 250 кВ·А:

1 — горизонтальный заземлитель; 2 — подстанция; 3 — электрод заземления; 4 — концевая обора 10 кВ.

собой стальные стержни диаметром 10...12 мм, длиной до 5 м, вертикально погруженных в грунт и соединенных между собой круглой сталью диаметром 10 мм при помощи сварки. Вместо круглой стали можно изготовить вертикальные заземлители из угловой стали 40×40×4 мм длиной 2,5 м, а горизонтальные соединители из полосовой стали сечением 25×4 мм.

Вертикальные заземлители погружают так, чтобы верхний конец был на 70 см ниже уровня земли. Горизонтальные заземлители прокладывают на уровне верхних концов вертикальных заземлителей. Все подземные соединения и присоединение заземляющих проводников к заземляемым конструкциям выполняют сваркой, а к корпусам аппаратов — сваркой или болтами. Каждый заземляемый элемент подстанции присоединяют к заземляющему контуру при помощи отдельного ответвления. Последовательно включать в заземляющий проводник несколько заземляемых частей установки запрещается. Пример заземляющего устройства для удельного сопротивления грунта $\rho = 1 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и $R \leq 4 \text{ Ом}$ приведен на рисунке 45.

§ 2. Строительно-монтажные работы

Строительство трансформаторных подстанций 6...35/0,4 кВ ведут в несколько этапов:

- 1) подготовительные работы; транспортировка конструкций и оборудования;
- 2) строительно-монтажные работы;
- 3) наладка оборудования.

До начала работ по сооружению трансформаторной подстанции составляют график поставки конструкций и оборудования, выбирают необходимые транспортные средства и механизмы. Проверяют возможность проезда транспортных средств, проверяют мосты, переезды, допустимые габариты. Выполняют привязку территории площадки подстанции и ее планировку для обеспечения отвода ливневых вод.

Котлованы для фундаментов бурят буровыми или бурильно-крановыми машинами БКГО, БМ (БКГМ), ГБС. Диаметр сверленных котлованов должен составлять 450 мм. Устанавливают приставки ПТ, стойки УСО-3А, УСО-4А при сооружении мачтовых и металлических КТП. При сооружении фундамента КТПП срезают растительный слой грунта не менее чем на 10 см, засыпают песчаное основание и укладывают железобетонные конструкции. Для удобства обслуживания на КТПП сооружают площадки на высоте 0,75 м от поверхности земли. Площадки устанавливают на двух стойках УСО-4А, которые заделывают в сверленные котлованы. Котлованы под стойки площадки обслуживания бурят только после окончательной установки стоек под шкафы КТПП. Металлическую раму площадки крепят к оголовкам стоек при помощи сварки. На металлическую раму площадки настилают доски.

Силовые трансформаторы 630 кВ·А содержат значительное количество масла, поэтому при планировке на территории площадки КТП предусматривают маслостоки для отвода масла в аварийных случаях. В целях создания безопасных в пожарном отношении условий расстояние от маслостоков до оборудования и зданий должно быть не менее 10 м.

Тип фундамента под сооружаемые подстанции во всех случаях выбирают в соответствии с проектным решением, принятым на основании данных инженерно-геологических изысканий.

При установке стоек в котлованы послойно трамбуют (уплотняют) грунт лопатами, механическими или ручными трамбовками. Для засыпки котлованов на песчаных почвах используют грунт, полученный при разработке котлована, а на глинистых почвах — песчано-гравийную смесь состава 1:1.

Для устройства заземляющего контура подстанции в грунт погружают вертикальные заземлители и роют горизонтальные траншеи для соединительных проводников. Для забивки электродов, рытья и засыпки траншей используют машины УЗК-1 на базе трактора ДТ20-С2. Круглые стальные вертикальные заземлители ввертывают при помощи специального приспособления ямобурами. Забивать электроды можно электропогружателем типа ПЗ-12, пневматическими заглубителями электродов, электромолотком и т. п. Вдавливают электроды при помощи гидросистемы трактора.

Доставленное на монтажную площадку оборудование осматривают, выявляя дефекты, проявившиеся при транспортировке. Целое оборудование устанавливают на подготовленный фундамент (опору). Для погрузки, разгрузки и установки оборудования используют краны соответствующей грузоподъемности.

При подготовке КТП на монтажном участке проверяют соответствие направляющих под трансформатор (кронштейнов) и при необходимости устанавливают направляющие нужной конструкции. После закрепления КТП на фундаменте устанавливают:

- 1) низковольтные изоляторы;
- 2) проходные изоляторы 6...35 кВ, удалив деревянные заглушки;
- 3) патроны предохранителей типа ПК;
- 4) высоковольтные и низковольтные разрядники.

Собирают линейный разъединитель на раме, регулируют углом поворота одновременность включения, ход контактов. Проверяют состояние поверхности и площадь прилегания контактов, регулируют усилие сжатия контактов. Допускается несоосность вертикальных осей фаз разъединителя не более ± 2 мм, отличие угла поворота подвижных ножей фаз не должно быть более 3%. Параллельность подвижных ножей и одновременность их замыкания регулируют изменением межполюсных тяг и перестановкой упоров. Разновременность включения ножей фаз может составлять не более 3 мм для разъединителей до 10 кВ и 5 мм для разъединителей на напряжение 35 кВ. Монтаж разъединителя выполняют следующим образом. Подготавливают приводную тягу и привод, после чего

разъединитель устанавливают на опору. Монтируют элементы блокировки привода разъединителя и дверцы высоковольтного шкафа.

Полностью собранные и отрегулированные разъединители подвергают испытаниям. Мегомметром на напряжение 2500 В измеряют сопротивление изоляции проводов и тяг, выполненных из органических материалов, и многоэлементных изоляторов.

Для проверки регулировки контактных систем измеряют вытягивающие усилия подвижных контактов из неподвижных и измеряют сопротивление контактов постоянному току. Полученные данные должны соответствовать нормам.

Основные указания по монтажу силовых трансформаторов изложены отдельно.

Наладочные работы на трансформаторных подстанциях выполняют специальные бригады, оснащенные приборами и оборудованием. Основные электрические испытания проводят с использованием автоэлектротехнической лаборатории ЭТЛ-10. Наладочная бригада испытывает все высоковольтное оборудование, силовой трансформатор, низковольтные аппараты, заземляющий контур в объеме, указанном в «Объемах и нормах испытания электрооборудования». Она же составляет исполнительную документацию с указанием изменений, внесенных в проектную документацию.

Для защиты обмоток силового трансформатора от волн перенапряжений на вводах подстанций устанавливают вентильные разрядники типа РВП, РВС, РВО, РВН.

Перед монтажом разрядник РВП-10 осматривают, проверяют целость фарфоровых частей (отсутствие сколов, трещин и т. п.), исправность армировки. При покачивании и встряхивании разрядника он не должен дребезжать. Позванивание свидетельствует об ослаблении связи между внутренними частями, такой разрядник следует перебрать в лаборатории или мастерской. Разрядник РВП-10 либо подвешивают за ушко, прикрепив его дополнительным стальным хомутом к корпусу шкафа, либо крепят к опорной конструкции хомутом из стальной полосы 60×6 мм. После установки каждый разрядник присоединяют к заземляющей сети стальной полосой 40×4 мм. Соединение с заземляющей магистралью должно быть выполнено по кратчайшему расстоянию. Верхний наружный контакт присоединяют к защищаемым токоведущим частям. Затем измеряют сопротивление изоляции мегомметром на 2500 В. Значение тока утечки проверяют при напряжении, равном номинальному напряжению разрядника на постоянном токе. Верхний допустимый предел тока утечки для РВП на 3,6 и 10 кВ составляет 10 мкА. Пробивное напряжение измеряют на переменном токе, для РВП-10 оно должно быть в пределах 23...32 кВ, для других разрядников пределы приведены в нормах [10].

В виде исключения допускается защита трансформаторной подстанции малой мощности трубчатыми разрядниками РТВ, РТФ. Трубчатые разрядники устанавливают также для защиты высоковольтных кабельных вставок и подходов к подстанции воздушных

линий электропередачи. В функцию разрядника входит не только ограничение волны перенапряжения, но и гашение дуги сопровождающего тока промышленной частоты, протекающего через искровой промежуток вслед за импульсным пробоем.

При срабатывании разрядника газогенерирующее вещество (фибра, винипласт) выгорает, что приводит к увеличению внутреннего диаметра трубки, падению давления газов при срабатывании и изменению пределов отключаемых токов. Поэтому перед установкой разрядника делают следующее:

1) проверяют состояние внутренней поверхности. Для этого вывинчивают стержневой электрод и просматривают внутренний канал. Наружная и внутренняя поверхности трубки должны быть ровными, без трещин и расслоения;

2) измеряют внутренний диаметр трубки. Допускается увеличение внутреннего диаметра на 40% по сравнению с первоначальными размерами. Для разрядников серии РТФ допускается уменьшение толщины стенки фибровой трубки до 2 мм. Дальнейшее увеличение приводит к повышению нижнего предела отключения токов выше допустимого;

3) измеряют внутренний искровой промежуток. Промежутки должны соответствовать номинальным значениям с допуском ± 5 мм для разрядников на напряжение 35 и 110 кВ и ± 3 мм для разрядников 3...10 кВ. Если внутренний искровой промежуток изменился незначительно, его можно подрегулировать изменением толщины прокладок у стержневого электрода.

После установки трубчатого разрядника на опору проверяют расположение зон выхлопа. Они не должны пересекаться и охватывать элементы конструкции и проводов, имеющих потенциал, отличный от потенциала разрядника.

§ 3. Монтаж силовых трансформаторов

Силовой трансформатор — основной элемент схемы электропитания. От качества монтажа во многом зависит надежность его работы в условиях эксплуатации.

По размерам силовые трансформаторы подразделяются на шесть габаритов. К первым габаритам относятся трансформаторы напряжением до 35 кВ (1-й габарит — мощностью 25...100 кВ·А, 2-й — 160...630 кВ·А и 3-й — 1000...6300 кВ·А). С завода-изготовителя трансформаторы обычно доставляют железнодорожным или водным транспортом. Трансформаторы мощностью до 1600 кВ·А транспортируют в полностью собранном виде и заполненными маслом. Трансформаторы большей мощности транспортируют с маслом, но со снятыми отдельными узлами (вводы, расширители, радиаторы и т. п.).

По грунтовым дорогам от железнодорожной станции до монтажной площадки трансформаторы 1-го и 2-го габаритов перевозят на автотранспорте, трансформаторы 3-го и более габаритов

перемещают на специальных трейлерах или металлических санях. Транспортировать трансформаторы на металлических листах категорически запрещено, так как при этом можно деформировать днище бака. В пределах строительной площадки трансформаторы к фундаменту часто перемещают по рельсовому пути на собственных катках. Выбор типа и числа транспортных средств, а также тяговых единиц определяют расчетом.

На месте монтажа трансформаторы разгружают либо при помощи кранов соответствующей грузоподъемности, либо при помощи домкратов на специально выполненную шпальную клеть.

Трансформаторы, поступившие к месту монтажа, в течение 10 дней подвергают осмотру и проверке на герметичность.

При проверке герметичности бака у трансформаторов, транспортируемых с маслом, убеждаются в отсутствии утечки масла и нормальном его уровне. У трансформаторов, транспортируемых с расширителем, уровень масла определяют по масломерному стеклу. У трансформаторов, транспортируемых с маслом, но без расширителя, на крышке бака устанавливают трубу длиной 1,5 м и диаметром, равным 1...1,5 дюйма с воронкой. В трубу наливают масло. Если в течение 3 ч течи нет, то бак трансформатора герметичен.

До проверки герметичности запрещается подтягивать уплотнения.

Во время хранения трансформаторов фарфоровые вводы закрывают деревянными ящиками, в процессе хранения периодически контролируют уровень масла в расширителе, отсутствие течи масла.

Чтобы монтаж силового трансформатора прошел успешно, необходимо тщательно выполнить подготовительные работы. До начала монтажа необходимо подготовить следующее:

- а) строительную часть (фундамент, пути перекачки от места сборки до монтажа);
- б) помещение (ТМХ) или площадку для сборки, ревизии и прогрева трансформатора;
- в) соответствующие подъемные механизмы, инструмент, приспособления и материалы;
- г) трансформаторное масло и оборудование для его обработки и заливки;
- д) мощные источники электроснабжения;
- е) противопожарный инвентарь и систему оповещения (телефон и т. п.).

После этого приступают к подготовке трансформатора и его арматуры к монтажу. К арматуре трансформаторов относятся вводы, радиаторы и расширитель (прибывшие отдельно), термосифонный и воздухоочистительный фильтры, вспомогательная аппаратура (газовое реле, термометры и т. п.) и уплотнения.

Вводы класса напряжения 3...35 кВ очищают от пыли и влаги. При осмотре проверяют надежность армировки, целость фарфора, убеждаются в отсутствии трещин и сколов. На вводах, внутренняя

полость которых заполняется маслом из бака, проверяют чистоту отверстия для поступления масла, а также отверстия и пробки для выпуска воздуха. Перед установкой на трансформатор вводы испытывают повышенным напряжением переменного тока в течение 1 мин.:

номинальное напряжение, кВ	3	6	10	20	35
испытательное напряжение, кВ	25	32	42	68	100

В случае необходимости армировки вводов пользуются магнетиальной массой.

При подготовке термосифонного фильтра его полностью разбирают, внутренние поверхности фильтра и соединительных патрубков очищают, промывают сухим трансформаторным маслом, а затем фильтр заполняют заранее подготовленным сорбентом. Фильтры вместимостью 50 л промывают сухим маслом при помощи фильтр-пресса до тех пор, пока масло не очистится от механических примесей. Сорбент перед засыпкой сушат при температуре 140°C (413 K) в течение 8 ч.

Перед монтажом расширителя и выхлопной трубы проверяют их на чистоту и герметичность. Для этого у расширителя снимают торцовые заглушки и всю его внутреннюю поверхность промывают чистым маслом. Далее устанавливают маслоуказатель и реле уровня масла, закрывают торцовые заглушки. Затем расширитель и выхлопную трубу испытывают на герметичность, заполняя их сухим трансформаторным маслом и выдерживая в течение трех часов.

Газовое реле перед установкой на трансформатор проверяют в лаборатории, затем устанавливают в расщелку маслопровода таким образом, чтобы стрелка на крышке реле была направлена от бака трансформатора к расширителю.

После выполнения подготовительных работ предварительно оценивают состояние изоляции трансформатора, для этого делают следующее:

- а) у трансформаторов, транспортируемых с маслом, отбирают пробу масла, которую подвергают сокращенному анализу и для которой измеряют тангенс угла диэлектрических потерь;
- б) у трансформаторов, транспортируемых без масла, проверяют электрическую прочность остатков масла, взятого через пробку в дне бака.

Результаты предварительной оценки состояния изоляции учитывают при решении вопроса о включении трансформатора в эксплуатацию без сушки.

§ 4. Ревизия активной части трансформатора

Ревизию активной части трансформатора проводят только в случае нарушения правил транспортировки, выгрузки и хранения, а также после каждого нарушения, которое могло бы привести к

повреждению внутри трансформатора. Способ проведения ревизии определяется конструкцией трансформатора. Можно поднять активную часть из бака трансформатора или верхнюю съемную часть, если бак с нижним разъемом.

Трансформатор можно вскрывать для осмотра только при условиях, препятствующих быстрому увлажнению изоляции. Осмотр следует проводить в помещении, защищенном от попадания атмосферных осадков и пыли. На открытом воздухе трансформатор можно вскрывать только в сухую и ясную погоду. Во всех случаях температура активной части в процессе всего периода разгерметизации должна превышать температуру точки росы окружающего воздуха не менее чем на 5° и должна быть не ниже +10°C. Температура точки росы окружающего воздуха зависит от его температуры и влажности и определяется по таблице 8.

Таблица 8

Относительная влажность воздуха, %	Температура точки росы окружающего воздуха при его температуре, °C						
	0	5	10	15	20	25	30
90	-1,0	3,5	8,5	13,3	18,2	23,3	28,2
80	-3,0	1,8	6,5	11,0	16,1	21,1	25,3
70	-4,4	-0,2	4,5	9,5	14,0	19,0	23,8
60	-6,8	-2,0	2,8	7,0	11,5	16,4	21,3
50	-8,5	-4,3	-0,5	4,3	8,6	13,2	17,9

Температуру активной части можно измерить любым термометром (кроме ртутного), установленным на верхнем ярме магнитопровода. Относительную влажность воздуха определяют психрометром либо при помощи двух термометров (сухого и влажного). Если естественные условия окружающей среды не соответствуют нужным требованиям, трансформатор перед разгерметизацией нагревают. При относительной влажности окружающего воздуха более 80% разгерметизация трансформаторов напряжением 35 кВ и выше возможна только в закрытом помещении или во временном сооружении, где можно создать необходимые условия.

Продолжительность пребывания трансформатора в разгерметизованном состоянии не должна превышать установленного времени при определенной влажности воздуха. Так, для трансформаторов на напряжение до 35 кВ при относительной влажности до 75% это время должно быть не более 24 ч, а при относительной влажности до 80% — только 16 ч.

Если продолжительность пребывания активной части в разгерметизованном состоянии превысила норму не более чем в два раза, необходимо провести контрольную подсушку изоляции си-

лового трансформатора. Началом разгерметизации для трансформаторов, транспортируемых с маслом, считается начало слива масла, а окончанием — начало вакуумирования перед заливкой.

При ревизии активной части трансформатора ее часто поднимают из бака. Трансформатор устанавливают строго по уровню, а поднятую активную часть — на деревянных подкладках. Объем работ при ревизии следующий.

1. Проверяют затяжку стяжных шпилек, креплений отводов, винтов и домкратов осевой прессовки обмоток. Все ослабленные гайки подтягивают и затягивают контргайками.

2. Визуально проверяют доступные изолирующие детали обмоток, отводов переключателей, цилиндров. Осматривают состояние контактных поверхностей переключателей.

3. Промывают активную часть струей горячего чистого и сухого трансформаторного масла. Промывают и очищают внутреннюю часть бака.

4. Измеряют сопротивление изоляции всех стяжных шпилек и пресующих колец относительно активной стали и ярмовых балок, сопротивление изоляции ярмовых балок относительно активной стали. Все измерения делают мегомметром на 1000...2500 В.

После окончания ревизии активную часть опускают в бак, герметизируют размеры крышки бака. Резиновые прокладки приклеивают к раме разъема. По всему периметру бака равномерно затягивают болты. После этого проверяют состояние изоляции силового трансформатора и при соответствии ее нормам в трансформатор заливают масло.

Трансформаторы напряжением до 35 кВ заливают маслом без вакуума. Температура масла должна быть не ниже $+10^{\circ}\text{C}$ (283 К), а температура активной части — выше температуры масла. Продолжительность заливки должна быть не более 8 ч. Заливают масло через расширитель.

В новые трансформаторы можно заливать только масло, не бывшее в эксплуатации и отвечающее требованиям ГОСТа.

Трансформаторы, выполненные в соответствии с ГОСТ 11677—75, разрешается монтировать и включать в эксплуатацию без ревизии активной части при соблюдении условий транспортировки, выгрузки и хранения.

После выполнения ревизии трансформатор собирают и перекачивают на фундамент. При сборке монтируют заранее подготовленные детали трансформатора: термосифонный фильтр, расширитель, выхлопную трубу, газовое реле, термосигнализаторы, а также силовые и контрольные кабели.

При монтаже перед снятием каждой заглушки убеждаются в том, что кран находится в закрытом положении. После снятия заглушки очищают поверхность фланцев и убеждаются в целостности резиновых уплотнений. Болты затягивают равномерно по всему периметру уплотнения до тех пор, пока толщина прокладки не составит $\frac{2}{3}$ первоначальной. После установки арматуры доливают

сухое масло через расширитель. При этом открывают воздухопускные пробки вводов 35 кВ, встроенных трансформаторов тока и т. п. После появления масла в воздухопускных отверстиях их закрывают пробками.

После окончания сборки при помощи лебедок, полиспастов или трактора плавно, со скоростью не выше 8 м/мин трансформатор перемещают на катках на фундамент и присоединяют к общему контуру заземления. При установке на фундамент необходимо проверить, чтобы крышка трансформатора имела подъем по направлению к газовому реле $1..1,5^\circ$ относительно линии горизонта.

§ 5. Испытания трансформаторов

После окончания монтажа трансформатор подвергают испытаниям. Испытание начинают с проверки маслостойкости его бака путем создания избыточного давления столбом масла высотой 0,6 м над высшим рабочим уровнем масла в расширителе в течение 3 ч при температуре масла не ниже $+10^\circ\text{C}$ (283 К). Для этой цели на крышке трансформатора устанавливают трубу высотой 1,5 м, заполненную маслом до необходимого уровня. Отсутствие течи в уплотнениях и швах бака трансформатора свидетельствует о его маслостойкости.

После окончания доливки и отстоя масла в течение не менее 24 ч отбирают масло для выполнения сокращенного анализа и измерения $\text{tg}\delta$ и электрической прочности. Характеристики масла должны соответствовать требованиям ПТЭ и ГОСТов.

Затем измеряют потери холостого хода при напряжении, равном 5..10% номинального (рис. 46). При этом используют схемы и напряжения, при которых были сделаны измерения на заводе-изготовителе. Значения потерь не нормируют, но для трехфазных трехстержневых трансформаторов они не должны отличаться от заводских данных более чем на 5%, а для однофазных трансформаторов — на 10%.

Потери в трансформаторе P'_0 при подведенном напряжении $U_{\text{н}}$ вычисляют по формуле

$$P'_0 = P_{\text{ном}} - P_{\text{пр}},$$

где $P_{\text{ном}}$ — суммарная мощность, потребляемая трансформатором и приборами (рис. 46, а); $P_{\text{пр}}$ — мощность, потребляемая приборами (рис. 46, б).

Для измерения сопротивления изоляции и определения отношения R_{60}/R_{15} пользуются мегомметром на 2500 В. При измерении все выводы обмоток одного напряжения соединяют между собой. Остальные обмотки и бак заземляют. За температуру изоляции трансформатора, не подвергающегося подогреву, принимают температуру верхних слоев масла. Значение R_{60} изоляции должно быть не менее указанного в нормах [10]. Например, для трансформаторов напряжением до 35 кВ включительно, залитых маслом, при температуре обмотки 20°C $R_{60} \geq 300$ МОм. Сопротивление изо-

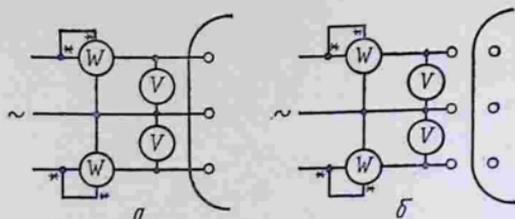


Рис. 46. Схема измерения потерь холостого хода: *а* — измерение суммарных потерь; *б* — измерение потерь в измерительных приборах.

ляции измеряют при температуре верхних слоев масла не ниже $+10^{\circ}\text{C}$, в противном случае трансформатор подогревают.

Тангенс угла диэлектрических потерь для трансформаторов напряжением до 35 кВ и мощностью до 6300 кВ·А измеряют в случаях несоответствия измеренного сопротивления изоляции требуемому значению. Измеренное значение $\text{tg}\delta$ изоляции обмоток, приведенное к одной температуре, не должно отличаться более чем на 1% от заводских данных и по абсолютному значению для температуры обмотки 20°C должно быть не более 1,5%.

При отсутствии паспортных данных или после ремонта с частичной или полной сменой обмоток проверяют коэффициенты трансформации на всех ступенях переключателя. Коэффициент трансформации не должен отличаться более чем на $\pm 2\%$ от значений, полученных на других фазах, и от заводских данных. Измерение выполняют компенсационным методом, методом двух вольтметров или методом образцового трансформатора (ГОСТ 3484—77).

Группу соединения проверяют при отсутствии паспортных данных или когда сомневаются в их правильности, а также после ремонтов с частичной или полной сменой обмоток. Измеряют фазометром или методом двух вольтметров. По показанию фазометра, измеряющего угловые смещения между напряжениями обмоток (рис. 47), определяют группу соединения.

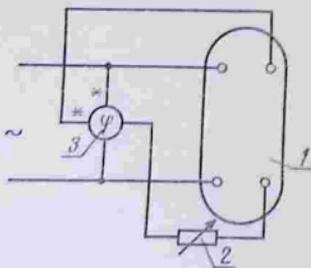


Рис. 47. Схема проверки группы соединения:

1 — испытуемый трансформатор; 2 — реостат; 3 — фазометр.

Сопротивление обмоток постоянному току определяют на всех ответвлениях. Полученные значения не должны отличаться более чем на 2% от сопротивления других фаз или от заводских данных.

Испытание изоляции повышенным напряжением с частотой 50 Гц проводят в течение 1 мин. Значение испытательного напряжения должно соответствовать ГОСТ 1516.1—73. Для трансформа-

торов с нормальной изоляцией значения испытательного напряжения во время пусконаладочных испытаний должны быть следующими:

класс напряжения обмотки, кВ	0,69	3	6	10	20	35
испытательное напряжение, кВ	4,5	16	23	32	50	77

После испытания изоляция повышенным напряжением у трансформаторов, имеющих магнитопроводы со стальными шпильками, следует в течение 1 мин испытать витковую изоляцию индуктированным напряжением промышленной частоты, равным 1,15 номинального напряжения.

Перед включением трансформатора в работу проверяют действие газовой защиты, реле уровня масла, манометрических термометров, встроенных трансформаторов тока. Действие реле уровня масла проверяют в процессе доливки маслом трансформатора.

§ 6. Особенности правил техники безопасности при монтаже трансформаторных подстанций

Строительные работы в помещениях и на территории подстанции должны быть полностью закончены до начала электромонтажных работ. Должны быть приняты фундаменты, порталы, конечные опоры воздушных линий, А- и П-образные конструкции. Эти конструкции при монтаже оборудования испытывают значительные нагрузки, и требуется надежное выполнение всех болтовых и сварных соединений, правильная установка анкерных болтов. Кабельные траншеи до начала электромонтажных работ должны быть закрыты временными настилами.

При выполнении такелажных работ все конструкции и оборудование массой более 50 кг необходимо поднимать при помощи грузоподъемных механизмов. Основную массу элементов подстанции монтируют при помощи автомобильного крана (разъединители, металлические шкафы КТП, шкафы КРУ, КРУН). Стропы к грузам крепят стропальщики, а управляет автокраном машинист, прошедший специальное обучение. Поднимать и перемещать опорные конструкции и электрооборудование разрешается только после принятия мер, предупреждающих опрокидывание конструкций. Для этого стропы следует крепить выше центра тяжести, применять оттяжки, расчалки и т. п.

При подъеме аппаратов запрещается крепить стропы к изоляторам, контактными деталям или отверстиям в лапах. Крепить следует только к раме (разъединитель, шкаф КТП и т. п.). Поднятое оборудование нужно немедленно закрепить на местах болтами, соответствующими проекту. Во избежание ранения рук перед установкой необходимо удалить заусенцы с болтов, шпилек, фланцев изоляторов. При выверке разъединителя, шкафа КТП не разрешается проверять совпадение отверстий руками. Все работы на активной части или внутри трансформатора можно выполнять только при условии, что активная часть надежно установлена внутри бака или

снаружи. Запрещается просовывать голову или руки между фланцем и крышкой трансформатора. До начала монтажа трансформатора все обмотки должны быть закорочены, а после окончания монтажа заземлены.

Во избежание поражения работающих электрическим током временные проводки для освещения, ручного электроинструмента, сигнализации и т. п., а также сварочные провода не должны касаться токоведущих частей монтируемой установки. Для местного освещения нужно применять ручные переносные лампы напряжением не выше 12 В.

При монтаже закрытых подстанций разъединители рубящего типа перемещают, поднимают и устанавливают лишь в положении «Включено». И, наоборот, выключатели выше 1000 В, автоматы, электромагнитные приводы, а также другие аппараты, снабженные возвратными пружинами или механизмами свободного расцепления, можно перемещать, поднимать и устанавливать только в положении «Отключено». Это вызвано тем, что при случайном отключении аппарата под действием возвратных пружин персонал может получить травмы.

Трехполюсные разъединители внутренней установки должны поднимать не менее двух рабочих. Подъем на высоту более 2 м следует выполнять с применением блока или лебедки. При проверке и наладке цепей управления, защиты, измерений, контроля и т. п. с подачей напряжения необходимо пользоваться инструментом с изолированными ручками.

Глава VII

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И МЕХАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

§ 1. Общие положения

Повышение производительности труда, сокращение сроков производства электромонтажных работ могут быть достигнуты при правильной организации электромонтажного производства. Электромонтажные работы завершают любое строительство, они определяют сроки ввода объектов в эксплуатацию. Задержка или несвоевременное окончание строительных работ отражается на сроках выполнения электромонтажных работ, а следовательно, на сроках сдачи в эксплуатацию смонтированного оборудования. Выполнение электромонтажных работ в две стадии ускоряет ввод объектов в эксплуатацию. На первой стадии выполняют все подготовительные и заготовительные работы. К ним относятся знакомство с проектом и разработка линейных и сетевых графиков, разработка технологического проекта электромонтажных работ. В нем учитывается очередность и последовательность монтажа. Проект используют для предварительной подготовки электромонтажных организаций к

предстоящим работам, на основании проекта составляют общестроительный план организации работ.

На первой стадии электромонтажных работ решают все вопросы, связанные с организацией труда: от проверки и изучения проектной документации до определения потребности в рабочей силе, составления графиков движения рабочих и разработки мероприятий по технике безопасности.

На первой стадии собирают разрозненное оборудование в блоки, регулируют и налаживают его, заряжают светильники, заготавливают тросовые проводки и т. п. На строительной площадке в зоне предстоящего монтажа проверяют проходы, каналы и ниши, необходимые для монтажа электрооборудования, заготавливают закладные детали и устанавливают их в строительные элементы зданий в процессе сооружения последних. Так как фундаменты, фермы, балки, колонны перекрытия представляют собой несущие строительные конструкции, которые нельзя пробивать, то в них закладывают трубы с заглушками по концам. Заготовительные работы, выполняемые вне зоны монтажа, могут быть широко механизированы и автоматизированы.

На второй стадии выполняют основные электромонтажные работы в готовых помещениях. Работы на этой стадии нужно вести после полного окончания строительных, отделочных и специальных работ.

На второй стадии применяют средства механизации — телескопические вышки, специализированные машины, кабелеукладчики, монтажные лебедки, приспособления и механизированные инструменты. Значительное внимание при этом уделяется внедрению новой техники и прогрессивной технологии.

Непосредственно на объекте монтажа устанавливают комплектующее в блоки и монтажные узлы электрооборудование и различные электроконструкции, прокладывают силовые и осветительные сети на подготовленных в первой стадии трассах с использованием закладных деталей, оконцовывают и присоединяют жилы проводов и кабелей к клеммам собранных шкафов и пультов в соответствии с монтажной схемой, предусмотренной проектом, предварительно комплектуют оборудование и материалы и организуют контейнерную и комплектную доставку их на монтажную площадку.

Вторая стадия завершается пусконаладочными работами. Наладку относительно простых объектов выполняют электромонтажники. Наладку сложного оборудования, например оборудования животноводческих комплексов, выполняют специализированные пусконаладочные и монтажно-наладочные управления.

Окончание наладочных работ рекомендуется планировать одновременно с окончанием остальных работ на объекте. По возможности проверку и наладку выполняют пооперационно, непосредственно после завершения отдельных видов работ. Наладочные работы выполняют в четыре этапа.

Первый этап — работы без подачи напряжения в схему. Осматривают оборудование, выявляют недоделки, измеряют сопротивление изоляции, проверяют диаграммы командоаппаратов, ключей управления, свободное включение рукояток приводов, полярность и фазировку линий.

Второй этап — работы с подачей напряжения в оперативные цепи управления. Проверяют действие всех элементов схемы, на блокировку, работу аппаратов при нормированных отклонениях напряжения. Выявленные недоделки и дефекты регистрируют в журнале. Обо всех замечаниях ставят в известность проектную и монтажную организации.

Третий этап — исполнение мероприятий второго этапа и проверка силовых цепей. Подают напряжение в силовые и оперативные цепи, осуществляют ручное управление электроприводами, опробуют их на разных режимах, передают объект эксплуатационному персоналу.

Четвертый этап — комплексные испытания и режимная наладка. На этом этапе обслуживание электроустановок находится в ведении эксплуатационного персонала. Наладчики наблюдают за четкостью и надежностью действия аппаратуры, настраивают машины на различные режимы работы. Дата начала комплексного опробования считается датой пуска объекта в эксплуатацию.

Для сдачи объекта в эксплуатацию монтажная организация готовит следующую документацию:

- 1) перечень отклонений от проекта;
 - 2) исправленные чертежи;
 - 3) акты на скрытые работы;
 - 4) протоколы осмотров, формуляры монтажа машин.
- Пусконаладочная организация представляет документы:
- 1) протоколы испытаний и наладки;
 - 2) исправленные принципиальные схемы;
 - 3) сведения о замене аппаратуры.

Предприятие-заказчик представляет техническую документацию заводов-изготовителей, поставщиков оборудования.

Научная организация труда на современном этапе тесно связана с совершенствованием техники, технологии, организации производства и управления. Большое значение имеет рациональная организация труда инженерно-технических работников и служащих. Следует шире применять счетно-вычислительную, множительную и организационную технику, научно обоснованные методы разделения труда.

Один из элементов научной организации труда — сетевое планирование электромонтажных работ. Сетевой график представляет собой модель технологических операций с отображением их взаимосвязи и последовательности выполнения. График составляют для оперативного управления и контроля за ходом строительства или монтажа. Работы в графике расположены в строгой технологической последовательности. Сроки начала последующих работ

определены в зависимости от времени выполнения предшествующих. Элементами сетевого графика являются события, работы и ожидания. Событие — это факт окончания одной или нескольких работ. Например, работе по затяжке проводов в трубы должно предшествовать событие — «трубы проложены». Термин «работа» в сетевом графике означает производственный процесс, требующий затраты труда, времени и ресурсов, например монтаж щитов управления, монтаж проводов и т. п. Ожидания требуют затрат времени без затрат труда и ресурсов, например, при отвердевании бетонных сооружений.

Сетевой график характеризуется начальным, конечным и промежуточными событиями. Каждое событие на сетевом графике изображают кружком. Символы событий (кружки) разделяют на секторы. В верхнем секторе обозначают порядковый номер события, в левом секторе — раннее начало, в правом — позднее начало работ. Работы изображают в виде линий — стрелок, связывающих между собой кружки — события. Над линией указывают число занятых рабочих, под линией — число дней, необходимых для выполнения данной работы. Начало и окончание работы обозначают двумя кружками предшествующего и последующего событий.

Из одного события может выходить или в него входить несколько работ — стрелок. Начальное событие не имеет никаких предшествующих работ, оно определяет начало строительства. Конечное событие не имеет никаких последующих работ, оно определяет окончание всего строительства. Путь в сетевом графике — это любая последовательность стрелок, в которой конец каждой предыдущей стрелки совпадает с началом последующей.

Непрерывная последовательность событий, работ и ожиданий от начального до конечного события, требующего наибольшего времени для своего выполнения, называется критическим путем. События и работы на критическом пути именуется критическими. Продолжительность работ, лежащих на критическом пути, определяет общую продолжительность комплекса работ, планируемых в сетевом графике.

Сетевые графики составляют проектные организации, а также ответственные исполнители, специально выделенные от строительной организации. Степень детализации графика зависит от объема и сложности строительства, числа объектов и числа событий. Объединение частичных графиков в общий называется сливанием сетевого графика. После составления графика выполняют математический обсчет продолжительности всех работ, включенных в график, выявляют резерв времени и ресурсов на не критических путях.

Сетевое планирование позволяет осуществлять оперативный контроль за ходом работ. Выполнение работ по сетевому графику контролируют два раза в неделю, выявляют процент и объем выполнения. В ходе анализа прогнозируют ожидаемые сроки свершения событий, выявляют резервы времени для обеспечения критических работ за счет не критических. С учетом намеченных мероприя-

тий пересчитывают график и срок завершения работ приводят директивному. Таким образом, планирование работ при помощи сетевого графика ведется непрерывно.

Система сетевого планирования позволяет сократить отчетность, освободить персонал от составления форм оперативной отчетности. Сетевые графики позволяют выделить из большого комплекса работ наиболее важные, лежащие на критическом пути, позволяют сосредоточить на них внимание и основные ресурсы. Помимо этого, они содействуют четкому установлению всех взаимосвязей между строительными-монтажными организациями, координации их работы и выбору оптимальных вариантов производства работ для сокращения их сроков. Сетевые графики устраняют разобщенность в планировании поставок оборудования и сроков строительства-монтажных работ.

§ 2. Механизация и индустриализация электромонтажных работ

Под механизацией работ понимается замена ручного труда работой машин, широкое применение механизированных инструментов. Механизация подразделяется на комплексную, частичную и малую. При комплексной механизации все основные процессы выполняют машинами и механизированными инструментами. При частичной механизации машины заменяют ручной труд на отдельных видах работ. При малой механизации применяют инструменты, приспособления и механизмы на отдельных операциях. На базе механизации с применением производительных и высокоэффективных механизмов и приспособлений осуществляется индустриализация электромонтажных работ.

К индустриализации работ относится совокупность мероприятий, направленных на сокращение сроков, повышение производительности труда, улучшение качества работ за счет выполнения электромонтажных работ вне строительной площадки — на заводах и монтажно-заготовительных участках. Уровень индустриализации работ характеризуется отношением объема работ, выполняемых индустриальными методами, ко всему объему работ. Уровень индустриализации имеет свой оптимальный предел, который зависит от вида сооружаемого объекта. Для электромонтажных работ оптимальный уровень индустриализации колеблется от 12 до 40%.

Внедрение индустриализации способствует созданию новых, более современных видов оборудования, отвечающих специфическим условиям работы. Повышается надежность и безопасность работы благодаря применению более современных схем и быстрой заменяемости панелей. Сокращается объем проектной документации и количество персонала. Повышается сохранность монтируемого оборудования, уменьшается объем строительства, сокращается продолжительность монтажа. На монтажно-заготовительных участках комплектуют электрооборудование и материалы, собирают одиноч-

ное оборудование в укрупненные блоки и монтажные узлы, изготовляют нестандартные монтажные изделия.

Монтаж электрооборудования обычно выполняют специализированные по видам работ звенья из 2..3 человек, из которых создана бригада по 6...12 человек. Бригадиров и звеньевых назначают из числа более опытных электромонтажников. Бригадир несет ответственность за правильное, своевременное и высококачественное выполнение электромонтажных работ, а также за экономное и правильное расходование монтажных материалов и инструмента.

§ 3. Техника безопасности при выполнении механизированных работ

Если необходимо перемещать тяжеловесные грузы по слабому грунту, то на пути следует уложить доски, брусья или шпалы. Если для этой цели пользуются катками, длина их должна быть подобрана так, чтобы концы катков не выступали более чем на 300...400 мм из-под груза. Запрещается кому-либо находиться на пути следования опускаемого или поднимаемого тяжеловесного груза. В зоне такелажных работ нельзя находиться посторонним лицам, а под поднятым грузом и в зоне опускания стрелы запрещается находиться всем лицам, в том числе непосредственным исполнителям и их руководителю. При спуске тяжеловесных грузов по наклонному скату необходимо применять две лебедки: одну со стороны ската, другую с противоположной стороны для торможения от самопроизвольного скольжения груза.

В кузовах автомашин, груженных тяжеловесными грузами, длинномерными материалами и кабельными барабанами, запрещается перевозить людей. Во время перевозки барабанов с кабелем водитель автомобиля должен не допускать резких торможений и поворотов, на поворотах снижать скорость до 4 км/ч, при спуске и подъеме в гору вести автомобиль на первой скорости. Скорость движения автомобилей у строящихся объектов должна быть не более 10 км/ч, а на поворотах — 5 км/ч.

К работе с электрифицированными и пневматическими инструментами допускаются лица, прошедшие специальное обучение по технике безопасности, имеющие отметку в удостоверении о допуске к этим работам. Напряжение переносного электроинструмента в особо опасных помещениях должно быть не более 12 В, в помещениях с повышенной опасностью — не более 42 В. Напряжение выше 42 В, но не более 220 В допускается в том случае, если инструментом пользуется квалифицированный работник, применяющий защитные средства (диэлектрические коврики, перчатки), и сеть при этом оборудована штепсельными розетками с заземляющим контактом. Двигатель электроинструмента включают после установки его на обрабатываемом материале с обязательным упором в размеченную начальную точку. Устанавливать рабочий инструмент в патрон и вынимать его из патрона, а также регулиро-

вать инструмент можно только при полной его остановке и отключении.

Механизированным инструментом нельзя работать, стоя на приставных лестницах. Стоя на стремянках, можно работать только при условии, что на них есть рабочая площадка, ограждение и соответствующие упоры на ножках.

Лицам, пользующимся электроинструментом, запрещается: передавать его другим лицам, хотя бы на непродолжительное время, разбирать и самим ремонтировать его, держаться за провод электроинструмента или касаться вращающегося режущего инструмента, удалять руками стружку или опилки во время работы инструмента или до конца его остановки, вносить внутрь барабанов, катушек, металлических резервуаров и т. п. переносные трансформаторы и преобразователи частоты.

При перерыве в работе или при переноске механизированного инструмента его необходимо отключать от питающей сети. Оставлять без надзора механизированный инструмент, присоединенный к электросети или сети сжатого воздуха, запрещается. Во время дождя или снегопада работать электроинструментом на открытых площадках можно лишь в исключительных случаях, если над рабочим местом есть навес, и обязательно применять диэлектрические перчатки и галоши.

К работе со строительно-монтажным пистолетом следует допускать наиболее дисциплинированных и технически грамотных электромонтеров не моложе 20 лет, имеющих квалификацию не ниже IV разряда, проработавших на электромонтажных работах не менее 3 лет, прошедших специальный курс обучения и имеющих удостоверение на право пользования пистолетом.

Рабочий обязан ежедневно в конце рабочего дня оформлять сдачу на склад (в кладовую) пистолета, неизрасходованных патронов, давших осечку. Пистолет следует сдавать на склад в чистом виде, а детали пистолета смазывать. Оставлять у рабочего после смены пистолет и патроны независимо от удаленности объекта монтажа от склада категорически запрещается.

К работе по электросварке, а также по обслуживанию электросварочных аппаратов могут быть допущены лица, прошедшие специальное обучение по технике безопасности на сварочных работах и имеющие отметку в удостоверении о проверке знаний по технике безопасности и допуске к этим работам.

При электромонтажных работах каждый электромонтер может выполнять несложную сварку, если он имеет допуск по технике безопасности и прошел инструктаж по соблюдению правил противопожарной безопасности. При этом не требуется сдавать экзамен с участием представителя Госгортехнадзора, как это делается для сложных и ответственных сварочных работ (дипломированный сварщик).

Во время сварки нельзя использовать в качестве заземления трубы действующих газопровода, водопровода и технологическое

оборудование. Запрещается также подавать напряжение к свариваемому изделию через систему последовательно соединенных металлических стержней, рельсов и других проводников.

Электрододержатель должен иметь надежную изоляцию, допускать быструю смену электрода без прикосновения к токоведущим частям. Во время работы контакты электрододержателя не должны сильно нагреваться при прохождении через них тока.

К работе по термитной сварке проводов могут быть допущены лица, которые вполне овладели этим способом сварки и могут выполнять ее самостоятельно. Термитную сварку следует выполнять только в защитных очках с темными стеклами. Во время сварки лицо работающего должно быть удалено от места сварки на расстояние не менее 0,5 м. Во избежание тяжелых ожогов трогать или поправлять горящий или остывающий термитный патрон запрещается. Сгоревший и остывший шлак следует сбивать в направлении от себя. Недогоревшую термитную спичку следует бросать на заранее намеченное место, на котором отсутствует какой бы то ни было сгораемый материал. Во избежание попадания на термитные спички искр от горящего патрона запасные спички и патроны следует хранить в рабочей сумке отдельно от других предметов. При обращении с термитными спичками и патронами всегда следует помнить, что они огнеопасны.

Раздел третий

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Глава I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

§ 1. Общие положения

Эксплуатация электрооборудования — это совокупность подготовки и использования изделий по назначению, технического обслуживания, хранения и транспортировки. Основные задачи эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве — добиться бесперебойного, надежного и качественного электроснабжения всех объектов сельскохозяйственного производства, создать нормальные режимы работы электрооборудования, обеспечивающие его наилучшие технико-экономические показатели, повышать эксплуатационную надежность оборудования.

Главная задача эксплуатации электрооборудования — поддерживать его в исправном состоянии в течение всего времени эксплуатации и обеспечивать его бесперебойную и экономичную работу. Для выполнения этой задачи необходимо проводить плановое техническое обслуживание электрооборудования.

При эксплуатации электрооборудования его техническое состояние ухудшается из-за износов, поломок, нарушений регулировки, ослабления креплений и т. п. Даже незначительная неисправность, например ненадежный контакт в электрической машине, может привести к выходу электрооборудования из строя, а в некоторых случаях — к аварии. Техническое обслуживание позволяет своевременно выявлять и устранять неисправности, возникающие в процессе эксплуатации, или причины, которые могут повлечь за собой неисправность. В сельском хозяйстве нашей страны применяется система плано-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППРЭСх), — это совокупность организационных и технических профилактических мероприятий по уходу, надзору за электрооборудованием, его обслуживанию и ремонту, проводимых с целью обеспечения безотказной работы.

§ 2. Основные положения по организации эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве

Сельскохозяйственное производство характеризуется специфическими условиями, как правило, тяжелыми для электрооборудо-

вания. Поэтому при эксплуатации электрооборудования особое внимание нужно обращать на следующее:

правильный выбор электрооборудования по условиям среды, в которой оно работает, при этом необходимо учитывать режим работы;

выбор мощности электрооборудования с учетом конкретных режимов его работы, особенно продолжительности его использования;

обслуживание электрооборудования перед вводом в эксплуатацию, перед пуском, в процессе работы, после остановки;

своевременное плановое проведение технического обслуживания с учетом режима работы;

плановое проведение текущих ремонтов, сочетающееся с модернизацией электрооборудования с учетом конкретных данных эксплуатации по выявлению слабых мест, узлов в электрооборудовании и причин их появления, усиление этих элементов и повышение надежности электрооборудования;

профилактические испытания электрооборудования и электроустановок, при этом необходимо учесть, что такие испытания могут быть проведены непосредственно на работающем электрооборудовании.

Некоторые объемы и сроки проведения перечисленных мероприятий приведены ниже.

Организация эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве имеет различные формы. Техническим обслуживанием и текущими ремонтами электрооборудования совхозов и колхозов занимаются Государственные комитеты по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства (бывшие объединения «Сельхозтехники»), сельскохозяйственные производственные энергетические объединения (предприятия) по сельской электрификации — «Сельхозэнерго» и электротехнические службы самих хозяйств (с высокоразвитым производством).

В настоящее время Госкомитет по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства при Совете Министров СССР рекомендует разные формы технического обслуживания машин и оборудования животноводческих ферм:

техническое обслуживание силами объединения;

техническое обслуживание силами хозяйств и объединения;

техническое обслуживание силами своих хозяйств.

Независимо от формы организации технического обслуживания на каждой механизированной животноводческой или птицеводческой ферме или животноводческом комплексе должен быть пункт технического обслуживания (рабочее место слесаря). Пункт входит в состав фермы хозяйства и подчинен инженеру по механизации животноводческих ферм или главному инженеру хозяйства.

Районные объединения Госкомитета по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства берут на себя техническое обслуживание сложных машин и установок животноводческих

ферм и комплексов. Для этой цели в районном объединении создаются специализированные бригады минимум из двух человек, один из которых выполняет дополнительно функции шофера.

Специализированная бригада обеспечивается передвижными средствами (мастерская МПР-4844-ГОСНИТИ на базе УАЗ-452 или мастерские ММИОЖ, АЖ, доукомплектованные соответствующими материалами). В некоторых объединениях такие бригады дополняются электриками, и бригада обслуживает все машины ферм, включая электрооборудование.

Кроме того, при районном объединении Госкомитета по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства организуется участок бригады по техническому обслуживанию животноводческих машин, включая и электрооборудование. Этот участок выполняет следующие функции:

проводит техническое обслуживание животноводческих машин и агрегатов, приборов автоматики и пускозащитной аппаратуры, а иногда и остального электрооборудования, требующего применения специального оборудования и приборов, которые имеют в каждом хозяйстве нецелесообразно;

выполняет несложный ремонт машин и оборудования путем замены изношенных деталей новыми или отремонтированными;

оказывает техническую помощь хозяйствам, обслуживающим оборудование ферм своими силами.

§ 3. Профилактические испытания изоляции электрооборудования

Профилактические испытания обязательны при эксплуатации всех электроустановок. Они позволяют обнаружить неисправности, которые не могут быть выявлены осмотром, так как иногда не имеют внешних проявлений. Своевременное устранение таких неисправностей предупреждает повреждение оборудования в период времени между ремонтами и авариями.

Объем профилактических испытаний следующий.

1. Сопротивление изоляции силовых проводов и проводок электрического освещения измеряют один раз в 2 года в помещении с нормальной средой и один раз в год в остальных помещениях. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм (мегомметр на 1000 В). Не реже одного раза в 3 года изоляцию проводов испытывают повышенным напряжением 1000 В промышленной частоты в течение 1 мин. При отсутствии источника питания промышленной частоты пользуются мегомметром на напряжение 2500 В. При вводе оборудования в эксплуатацию после его капитальных ремонтов и перестановки проверяют фазировку и целостность цепей.

2. Сопротивления изоляции электродвигателей, аппаратов и цепей вторичной коммутации измеряют в сроки, установленные лицом, ответственным за электрохозяйство. Для электродвигателей

напряжением до 500 В используют мегомметр на 1000 В, сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

3. Элементы заземляющего устройства, находящегося в земле, осматривают со вскрытием грунта выборочно в сроки, устанавливаемые ответственным за электрохозяйство, но не реже одного раза в год. Цепь между заземлениями и заземляющими элементами проверяют не реже одного раза в год.

4. Сопротивление пробивных предохранителей проверяют при вводе в эксплуатацию, ремонте оборудования и если есть предположение, что предохранители сработали.

5. Сопротивление петли фаза — нулевой провод в установках до 1000 В с глухим заземлением нейтрали проводят при пуске в эксплуатацию и далее не реже одного раза в 5 лет.

Значение сопротивления должно быть таково, чтобы ток однофазного замыкания не менее чем в 3 раза превышал номинальный ток ближайшей плавкой вставки и в 1,5 раза ток отключения максимального расцепителя соответствующего автоматического выключателя.

§ 4. Наладка электрооборудования

Сельскохозяйственное производство характеризуется большим разнообразием электроустановок, в которых используются современные автоматизированные электроприводы со станциями управления. После монтажа таких установок перед пуском их в эксплуатацию налаживают отдельные аппараты, а затем увязывают их совместную работу для обеспечения заданных режимов.

Перед началом наладочных работ знакомятся с проектом и проверяют соответствие установленного оборудования запроектированному. При этом изучают элементные (развернутые) схемы и проверяют правильность их выполнения.

Наладку схемы электропривода выполняют по элементной и монтажной схемам, а также по схеме внешних соединений, по которой проверяют все соединения от станции управления к электрическим машинам, пульту управления, ящикам сопротивлений и т. п.

По кабельному журналу проверяют марку кабеля или провода, сечение жил, число резервных жил, направление трассы. Пользуясь монтажными схемами, проверяют тип аппаратуры станций управления и пультов, ее расстановку, маркировку зажимов и концов, подходящих к аппаратам, условные обозначения аппаратов. Изучают схемы питания станций управления, оперативного тока для цепей управления электроприводами и спецификацию электрооборудования. После изучения проектной документации осматривают электрические цепи, испытывают их повышенным напряжением и корректируют проектные схемы в процессе наладки.

При внешнем осмотре проверяют качество монтажных работ по силовым и оперативным цепям (надежность крепления проводов на клеммах, наличие изоляционных прокладок между проводами и

крепящими их скобами, нарушение изоляции, обрывы, изломы и т. п.). Особое внимание уделяют контактным соединениям.

Далее по элементной или монтажной схеме проверяют маркировку. В большинстве случаев первыми проверяют первичные цепи (их целостность, фазировку), внешние соединения первичных и вторичных оперативных цепей (отсутствие замыканий на землю и обрывов в цепях) и вторичные цепи в пределах станций управления блоков и пультов управления, панелей сигнализации и т. п. (отсутствие коротких замыканий и обрывов).

Вторичные цепи проверяют прозваниванием или методом непосредственного опробования. Работу схем защит и сигнализации проверяют имитацией ненормальных и аварийных режимов работы электрооборудования. При обнаружении отказов в работе отдельных узлов схемы определяют обходные цепи или места обрывов (обычно при помощи вольтметра или пробника).

Испытывать вторичные (оперативные) цепи повышенным напряжением (цепи защиты, управления и измерения с присоединенной аппаратурой), согласно Правилам устройства электроустановок, обязательно. Значение испытательного напряжения переменного тока частотой 50 Гц принимают в зависимости от номинального напряжения. Напряжение подают в испытываемую цепь в течение 1 мин. Каждый участок схемы испытывают отдельно. До и после испытания цепей повышенным напряжением измеряют сопротивление их изоляции. Значение сопротивления изоляции относительно земли должно быть не менее 10 МОм для цепей постоянного тока и щитов управления и 1 МОм для каждого присоединения цепей питания и вторичных цепей.

В процессе наладки корректируют проектные схемы, поэтому наладочный персонал имеет два комплекта элементных схем. На одном комплекте (рабочем) делают все отметки и исправления в процессе наладки, на второй комплект тушью наносят изменения. Обе схемы с соответствующими протоколами испытаний представляют заказчику после окончания наладочных работ.

Все поправки, вносимые в схемы в процессе наладки, не должны вести к изменению режимов работы установок. При необходимости наладочная организация может потребовать от проектной организации изменения схемы, то есть изменения проекта. Применительно к сельскохозяйственному производству, где в основном используют асинхронный электродвигатель, наладку начинают с проверки паспортных данных электродвигателя (при несовпадении их с проектом электродвигатель заменяют). Затем его осматривают, проверяют схему электропривода и налаживают аппаратуру управления. После этого налаживают схему в целом. Для управления асинхронными электродвигателями широко используют магнитные пускатели и блоки управления.

В начале проверки схемы блока управления выясняют, есть ли в схеме напряжение (при отключенном электродвигателе) и есть ли в предохранителях плавкие вставки. Затем включают рубиль-

ник и нажимают кнопку «Пуск». При этом контактор должен включиться и остаться включенным при отпускании кнопки. При нажатии кнопки «Стоп» контактор должен надежно сработать. Затем принудительно размыкают оба контакта теплового реле и нажимают кнопку «Пуск» — контактор не должен включаться. Не должен он включаться и при возвращении одного из контактов теплового реле в замкнутое состояние. Затем (с соблюдением правил техники безопасности) наладчик размыкает блок-контакты, шунтирующие кнопку «Пуск» при включенном контакторе; при этом контактор должен отключиться.

Убедившись в правильной работе схемы, отключают рубильник и подключают концы кабеля к клеммам электродвигателя. Включают рубильник и пускают электродвигатель толчком вхолостую (как правило, при отъединенной рабочей машине). При этом один из наладчиков находится возле кнопки управления, а второй — около электродвигателя. По сигналу, подаваемому вторым наладчиком, первый нажимает кнопку «Пуск», а затем — кнопку «Стоп». Наладчик, находящийся возле электродвигателя, проверяет при этом направление вращения его вала и выявляет возможные неполадки. При нормальном состоянии электродвигателя его включают на более длительный промежуток времени. Затем, подсоединяя электродвигатель к рабочей машине, снова опробовывают его сначала при работе с рабочей машиной без нагрузки, а затем под нагрузкой. Наладчики наблюдают за работой электродвигателя и аппаратуры, а эксплуатационный персонал — за работой машины.

§ 5. Контроль за температурными режимами электрооборудования

Электрические машины, трансформаторы и другие электроаппараты нагреваются под действием тока, проходящего по обмоткам и токоведущим частям, и вследствие перемагничивания стальных сердечников. Выделяемое тепло воздействует на изоляцию электроустановок. Так как элементы электрооборудования выполняют из материалов с различными коэффициентами теплового расширения, в них могут возникать усилия, вызывающие опасные деформации.

Чтобы устранить вредное воздействие температуры на изоляцию, ее нужно правильно выбрать по нагреву. Соединения (контакты) токоведущих частей нужно устраивать очень тщательно, а для устранения деформации в распределительных устройствах использовать температурные компенсаторы.

При нормальных режимах работы и при коротких замыканиях электрооборудования наименьшее влияние нагрева испытывает фарфоровая изоляция, однако фарфор очень чувствителен к неравномерному нагреву из-за плохой его теплопроводности. Вследствие температурных расширений на границе нагретого и холодного мест возникают тепловые напряжения, под действием которых в фарфоре могут образовываться трещины.

Особенно чувствительна к нагреву изоляция на органической основе (бумага, пряжа, ткани и т. п.), поэтому в эксплуатации и при ремонте необходимо избегать применения такой изоляции.

В эксплуатации необходимо следить за тем, чтобы температура изоляции не превосходила предельных значений. Обычно для этого достаточно не допускать превышения нагрузки машины и оборудования сверх номинальной при нормальной температуре охлаждающего воздуха.

Величина, обратная сроку службы изоляции, называется износом изоляции. Она показывает, какая часть полного срока службы израсходована за год. Износ (в процентах) за какой-либо промежуток времени определяют по формуле

$$\varepsilon = \frac{100}{A} T e^{at},$$

где T — промежуток времени в долях года; A — срок службы изоляции при температуре, равной нулю.

Электрооборудование, как правило, работает при переменных нагрузке и температуре охлаждающей среды, при этом износ

$$\varepsilon = \frac{100}{A} \int_{T_1}^{T_2} e^{at} dT.$$

Среднюю температуру обмоток электрооборудования можно определить по изменению их сопротивления на постоянном токе. Для этого применяют метод вольтметра и амперметра (наиболее простой, но менее точный) или измерительные мосты. Местные температуры можно измерить ртутными или спиртовыми термометрами (первые для измерения температур частей электрооборудования, находящихся в зоне переменных магнитных полей, применять не следует), термометрами манометрического типа и термодетекторами (термопарами и термосопротивлениями).

§ 6. Пути эффективного использования электрооборудования*

Использование электрооборудования оценивают, сравнивая фактическое полезное потребление или преобразование электроэнергии W_{ϕ} с потенциально возможным W_n за некоторый период времени (как правило, за год):

$$k_{\text{и}} = \frac{W_{\phi}}{W_n},$$

где $k_{\text{и}}$ — коэффициент использования электрооборудования.

Значение коэффициента зависит от многих факторов. Их взаимосвязь может быть записана в следующем виде:

$$k_{\text{и}} = \frac{\tau_c \tau_{\text{г}} k_{\text{г}}}{\tau_n k_{\text{н}} k_{\text{к}}},$$

* Параграф написан канд. техн. наук Г. П. Ерошенко.

где t_c — продолжительность использования оборудования за сутки; t_r — продолжительность использования оборудования за год; β — загрузка оборудования; k_r — коэффициент технической готовности, характеризующий простой оборудования из-за неисправностей и отказов; t_n — принятая при проектировании продолжительность использования установленной мощности оборудования в течение года; k_n — коэффициент, характеризующий надежность оборудования; k_k — коэффициент каталожной неувязки.

В уравнении (а) числитель представляет факторы, которые характеризуют фактическое потребление энергии, а знаменатель — нормативные (проектные) значения. Если принять, что полному использованию оборудования соответствует $k_n=1$, а достигнутый уровень $k_n < 1$, то формальная задача улучшения использования заключается в определении таких значений параметров, когда числитель и знаменатель равны между собой.

Есть три направления в решении этой задачи.

Первое из них — вариация числителя при заданном знаменателе, то есть создание таких условий эксплуатации, когда фактическое потребление энергии каждым электроприемником достигает проектного (нормативного). Практическая реализация этого направления возлагается на службу эксплуатации. Это достигается за счет увеличения загрузки оборудования β , увеличения времени работы t_r в году, улучшения технического обслуживания k_r .

Второе направление — при заданном числителе изменяют знаменатель, то есть находят наилучшее значение параметров оборудования на стадии проектирования. Очевидно, что такое решение возлагается на разработчиков и изготовителей электрооборудования.

Наконец, третье направление — вариация и числителя, и знаменателя, то есть режимы эксплуатации приближают к номинальным параметрам оборудования, а эти параметры, в свою очередь, выбирают в соответствии с условиями эксплуатации. Этот вариант требует творческого сотрудничества эксплуатационников и разработчиков электрооборудования.

Для осуществления первого направления, повышения эффективности использования, важно выбрать режимы работы электрооборудования. Например, при увеличении загрузки трансформатора или электродвигателя достигается положительный эффект — улучшается использование, но вместе с этим наблюдаются отрицательные последствия — возрастают потери электроэнергии. Какой же должна быть нагрузка? Чтобы ответить на этот вопрос, надо найти критерий наилучшего решения. Он называется критерием оптимальности, а само решение — оптимальным.

Среди многих критериев (срок службы, частота отказов, затраты на капитальный ремонт и др.) следует принимать наиболее общий. При оптимизации использования электрооборудования таким критерием является сумма годовых затрат, связанных с эксплуатацией изделия, отнесенная к полезно потребленной энергии за этот период, то есть действительная цена потребленного киловатт-часа.

Эксплуатация считается наилучшей (оптимальной), если достигнута наименьшая цена потребленной энергии.

В общем случае эта цена включает тариф на электроэнергию и дополнительные удельные затраты, связанные с амортизационными отчислениями, заработной платой электрикам, затратами на запасные части и материалы, стоимостью потерь электроэнергии. Каждое из слагаемых зависит от особенностей эксплуатации или параметров электрооборудования. Если учесть эти связи, то получится следующее уравнение действительной цены потребленной электроэнергии:

$$C_d = c + c_{p_{к.з}} \alpha \beta + \left(\frac{З}{\tau_c \tau_r} + c_{p_{х.х}} \right) \frac{1}{\beta}, \quad (6)$$

где c — тариф на электроэнергию; $p_{к.з}$, $p_{х.х}$ — приведенные потери короткого замыкания и холостого хода; α — время максимальных потерь короткого замыкания, приведенное к полному времени работы; τ_c , τ_r — продолжительность работы в течение суток (ч) и года (дней); β — загрузка оборудования; $З$ — постоянные затраты на эксплуатацию, приведенные к мощности оборудования (амортизационные отчисления, зарплата персонала и т. д.).

Из уравнения (6) можно определить оптимальную загрузку оборудования, то есть такое значение β , при котором $C_d = \min$. Для этого в соответствии с правилами исследования функций вычисляют первую производную по β и результат приравнивают нулю. Из полученного уравнения определяют оптимальную загрузку:

$$\beta_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{З + c_{p_{х.х}} \tau_c \tau_r}{c_{p_{к.з}} \tau_c \tau_r \alpha^2}}.$$

Уравнение устанавливает связь между эксплуатационными факторами, поэтому его называют эксплуатационной экономической характеристикой. Эта характеристика наглядно оценивает сложившиеся режимы работы и условия эксплуатации.

Оптимальный режим работы электропривода и подстанции соответствует номинальной нагрузке в течение расчетного (проектного) числа часов использования установленной мощности. При этом действительная цена электроэнергии, например, для электропривода мощностью 4,5 кВт равна 1,4 коп/кВт·ч и для подстанции с трансформатором ТМ-400/10—0,55 коп/кВт·ч.

При оптимальном использовании двигателя эксплуатационные затраты на электропривод составляют 40% стоимости электроэнергии, потребленной за год.

Отступление от оптимального режима увеличивает действительную цену электроэнергии, например, при $\beta = 0,8$ и $\tau_c \tau_r = 100$ ч в год, что характерно для электроприводов в животноводстве, каждый киловатт-час обходится хозяйству в 7 раз дороже. Для подстанции, имеющей $\beta = 0,5$ и $\tau_c \tau_r = 1000$ ч в год, цена каждого преобразованного киловатт-часа в 5 раз превышает минимально возможное значение.

Эксплуатационные экономические характеристики позволяют

наметить и оценить пути повышения эффективности использования электрооборудования. Большое влияние на снижение C_d оказывает увеличение времени использования и в меньшей степени — загрузка. Следовательно, для электрооборудования, применяемого сезонно, надо принудительно формировать годовой график работы. С этой целью можно организовывать совмещенное использование одних и тех же электродвигателей или трансформаторов, то есть зимой в животноводстве, летом в растениеводстве.

По характеристикам также видно, что увеличение загрузки на 20...30% против номинальной практически не увеличивает общие затраты на эксплуатацию. Поэтому перегрузки электрооборудования экономически оправданы. Их значение нужно выбирать из условия целесообразного перегрева изоляции.

Сельскохозяйственное производство в полной мере оснащено электрооборудованием. Организация его оптимального использования позволит повысить эффективность сельской электрификации.

§ 7. Параметры надежности работы электрооборудования

Основной показатель качества электрооборудования — его надежность работы в различных условиях эксплуатации. Надежность — это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели (производительность, экономичность, расход электроэнергии и другие паспортные характеристики) в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени.

Надежность — это комплексное свойство объекта, включающее в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и в значительной мере зависит от условий эксплуатации.

Безотказность — это свойство электроаппарата сохранять работоспособность в течение некоторого времени без вынужденных перерывов. Под работоспособностью в данном случае понимается состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в установленных документацией пределах. Понятие работоспособности уже понятия надежности. Например, электродвигатель, работающий в тяжелых условиях животноводческих ферм, работоспособен, но ненадежен и может выйти из строя в любой момент времени.

Долговечность — это свойство машины, агрегата сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние объекта определяется невозможностью его дальнейшей эксплуатации из-за непоправимого изменения заданных параметров, неустраняемого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой и т. п.

Ремонтпригодность — это состояние объекта, при котором можно устранять повреждения и восстанавливать его технические

параметры путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

Остановимся на определениях некоторых терминов, которые необходимы для перехода к оценке показателей надежности.

Неисправность — это состояние оборудования, при котором оно не соответствует хотя бы одному из технических требований.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Это частичная или полная утрата таких свойств, которые обеспечивают работоспособность объекта.

Наработка — продолжительность или объем работы, выполненной электроаппаратом.

Наработка на отказ — средняя продолжительность работы между отказами. Если наработка выражается в единицах времени, можно применять термин «Средняя продолжительность безотказной работы».

Ресурс — продолжительность работы изделия до наступления предельного состояния. Различают ресурс до первого ремонта, межремонтный и т. д.

Надежность работы электрооборудования может быть представлена показателями надежности. При определении надежности электрооборудования часто пользуются следующими количественными показателями:

- время безотказной работы;
- вероятность безотказной работы;
- интенсивность отказов;
- срок службы и межремонтный срок службы.

Время безотказной работы T_0 оценивается средним числом часов работы оборудования до первого отказа и может быть определено на основе статистических данных:

$$T_0 = \frac{\sum_1^n t_i}{n},$$

где t_i — время исправной работы i -го аппарата до первого отказа; n — общее число рассматриваемых отказов.

На практике более часто используется вероятность безотказной работы $P(t)$, заключающаяся в том, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки машина работает без отказа.

Для электродвигателей вероятность безотказной работы определяется по статистическим данным:

$$P(t) = \frac{N_0 - \Delta N}{N_0},$$

где ΔN — число отказавших машин за время t ; N_0 — число испытываемых машин в начальный момент времени.

Интенсивность отказов представляет собой вероятность отказа ремонтируемой машины в единицу времени. Вероятность отказов определяют по статистическим данным:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta N}{N_0 \Delta t},$$

где ΔN — число машин, отказавших за время Δt ; Δt — интервал времени наблюдения.

Срок службы — это продолжительность работы аппарата до момента возникновения предельного состояния, определяемого техническими условиями. Различают сроки службы до первого капитального ремонта, между ремонтами и т. п.

Межремонтный срок службы, или межремонтный ресурс, — наработка аппарата, прошедшего ремонт, до состояния, при котором он подлежит следующему очередному ремонту.

Надежность электрооборудования можно исследовать аналитически или при помощи статистического метода.

При аналитическом методе устанавливают функциональные связи между надежностью отдельных элементов и электродвигателя в целом, а также определяют влияние различных факторов на них. Затем при помощи математической модели электродвигателя и полученных функциональных связей определяют надежность электродвигателя для определенных условий.

Многообразные функциональные связи между элементами электродвигателя и его системой в целом, а также факторов, различно воздействующих на двигатель, затрудняет использование аналитического метода при исследовании надежности. Этот метод нашел применение при расчете надежности в стадии конструирования.

Эксплуатационная надежность зависит от качества активных и конструктивных материалов, используемых при изготовлении электроаппаратов, от качества изготовления и ремонта, от условий эксплуатации и определяется на основе статистических материалов наблюдения за работой аппарата в процессе эксплуатации.

Глава II

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

§ 1. Общие положения

В процессе эксплуатации воздушные линии электропередачи подвергаются воздействию различных нагрузок. Опоры находятся под длительным воздействием нагрузок от веса собственных конструктивных частей, а также проводов, тросов, изоляторов и арматуры. Они испытывают кратковременные воздействия переменных нагрузок от давления ветра, неуравновешенных усилий от тяжения

проводов во время проведения ремонтных работ. Все опоры подвержены процессу старения, а деревянные — процессу загнивания и samozагорания.

Провода воздушных линий (ВЛ) работают в особых условиях. По ним протекает электрический ток, и они подвергаются тепловому и динамическому воздействию токов нагрузки и аварийных токов. Вместе с тем провода испытывают воздействие колебаний температуры воздуха, грозových разрядов, гололеда, снега. В процессе эксплуатации происходят обрывы проводов проходящими высокогабаритными машинами, различного рода набросы и т. д. Провода и линейная изоляция иногда работают в атмосфере, загрязненной примесями агрессивных газов, растворами солей и кислот.

Все эти факторы и обуславливают создание специальной системы мероприятий по обслуживанию ВЛ (технической эксплуатации), обеспечивающей их надежную и безаварийную работу. Для нормальной и безаварийной работы ВЛ обслуживающий персонал обязан содержать в исправности все элементы линии электропередачи, своевременно проводить необходимые работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования. Поставленные задачи эксплуатации могут быть решены при следующих условиях:

- 1) соблюдении допустимых режимов работы ВЛ по токам нагрузки;
- 2) постоянном наблюдении за ВЛ (осмотрах линий);
- 3) проведении измерений и профилактических испытаний;
- 4) проведении планово-предупредительных ремонтов;
- 5) ведении технической документации;
- 6) расследовании причин аварий и разработке мероприятий по их устранению.

§ 2. Соблюдение режимов по токам нагрузки

Провода ВЛ при протекании по ним электрического тока нагреваются. Правилами устройств электроустановок предельно допускаемая температура голых проводов при длительном протекании тока T_d ограничена 70°C (343 K). Для проводов ВЛ длительно допускаемые токовые нагрузки I_n рассчитаны из условия работы линии при температуре окружающей среды $+25^{\circ}\text{C}$ (298 K). Если температура окружающей среды отличается от $+25^{\circ}\text{C}$ (298 K) при определении длительно допускаемой нагрузки I_d , вводят поправочный коэффициент k :

$$I_d = kI_n = I_n \sqrt{\frac{T_d' - t}{T_d - 25}}$$

Предельные токовые нагрузки допускаются только лишь в аварийных случаях. Во всех остальных случаях ток должен быть не более рабочего максимального, взятого в качестве исходного при расчете и выборе проводов сети.

§ 3. Осмотры воздушных линий

В процессе эксплуатации ВЛ подвергают осмотрам, которые делятся на периодические и внеочередные. В свою очередь, периодические осмотры подразделяются на дневные, ночные, верховые и контрольные.

При дневных осмотрах проверяют состояние элементов ВЛ и ее трассы. Во время осмотров подтягивают бандажи, восстанавливают нумерацию опор. Элементы линии, недоступные для осмотра с земли невооруженным глазом, монтер-обходчик осматривает через бинокль.

Во время ночных осмотров ВЛ выявляют свечение или искрение в местах соединений, которые возникают при неудовлетворительном состоянии контактов, а также выявляют дефектные лампы уличного освещения.

При выполнении дневных и ночных осмотров линии обходчик не поднимается на опоры, а линия находится под напряжением. Однако при обнаружении неисправностей аварийного характера обходчик обязан быстро сообщить об этом руководству. Неисправности аварийного характера следует устранять немедленно.

Но не все дефекты могут быть выявлены в результате осмотра с земли. Поэтому проводят верховые осмотры воздушных линий. Линию при этом отключают и заземляют. Во время верхового осмотра проверяют крепление изоляторов и арматуры, степень загрязнения изоляторов, состояние верхних частей опор, состояние соединений проводов, а также натяжение и крепление оттяжек и т. п.

С целью контроля работы персонала, обслуживающего ВЛ, проверки выполнения противоаварийных мероприятий, проведения общей оценки состояния ВЛ и их трасс инженерно-технический персонал периодически проводит выборочные контрольные осмотры линий.

Внеочередные осмотры воздушных линий электропередачи проводят при наступлении гололеда, сильных морозов (ниже -40°C), после ледоходов, разлива рек, при лесных и степных пожарах, а также после автоматического отключения линии.

Периодичность проводимых осмотров приведена в таблице 9.

При проведении периодических осмотров обращают внимание на следующее:

- а) чистоту трассы, касание проводов ветвями деревьев;
- б) наличие ожогов, трещин, боя изоляторов, обрывов проводов, целостность вязок, регулировку проводов;
- в) состояние опор и креп их вдоль и поперек линии, целостность бандажей и заземляющих устройств;
- г) состояние соединителей, наличие набросов;
- д) состояние вводных ответвлений и предохранителей;
- е) не проводятся ли на трассе строительные работы без разрешения и не хранятся ли на ней какие-либо материалы.

Вид осмотра	Периодичность осмотров воздушных линий напряжением до 1000 В		Исполнитель
	районных электрических сетей	потребителей	
Дневной	1 раз в 6 месяцев	1 раз в месяц	Электромонтер, квалификационная группа не ниже 2
Ночной Верховой	По необходимости 1 раз в 6 лет	— —	То же То же, группа не ниже 3
Контрольный	1 раз в год	1 раз в год	ИТР, квалификационная группа не ниже 4
Внеочередной	По необходимости	По необходимости	Назначается главным инженером РЭС

Все повреждения, нарушения и дефекты, обнаруженные во время осмотров, записывают в листок осмотра.

§ 4. Профилактические измерения и проверки на линиях

Осмотры позволяют выявить не все неисправности ВЛ. Поэтому существующими правилами технической эксплуатации предусматривается проведение ряда проверок и измерений (табл. 10).

Таблица 10

Наименование работ	Периодичность проверок измерений		Исполнитель
	воздушных линий районных электрических сетей	воздушных линий потребителей	
Проверка состояния деревянных опор и измерение глубины загнивания	1 раз в 3 года	1 раз в 3 года	Электромонтер, квалификационная группа не ниже 2
Проверка состояния железобетонных опор и приставок	После первых трех лет эксплуатации и в дальнейшем 1 раз в 6 лет	После первых трех лет эксплуатации и в дальнейшем 1 раз в 6 лет	То же
Измерение сопротивления заземляющего устройства	1 раз в 6 лет	1 раз в первый год эксплуатации и в дальнейшем 1 раз в 3 года	»
Проверка расстояний от проводов до земли и прилегающих сооружений	При сомнении в соответствии расстояний	При сомнении в соответствии расстояний	»

Проверка состояния деревянных опор. Линии электропередачи рассчитывают на определенные расчетные нагрузки. Однако в условиях эксплуатации в результате неблагоприятного сочетания отдельных видов нагрузок могут возникнуть более тяжелые условия. Это может привести к повреждениям и наклонам опор. Повреждения и наклоны опор могут быть вызваны оползнями, ледоходом, в результате наезда на них транспорта и других механических воздействий. Причиной появления наклона опоры может стать плохое закрепление ее в грунте. В результате воздействия переменных ветровых нагрузок плохо закрепленная опора расшатывается. Наклон может произойти в результате ослабления проволочных бандажей, болтовых соединений, отяжек.

Всякое отклонение опоры от нормального положения приводит к появлению изгибающего момента, снижению несущей способности опоры, что в конечном счете может привести к ее повреждению, хотя значение нагрузок может и не достигать расчетного.

Один из основных недостатков деревянных опор — их подверженность гниению. Разные части деревянных опор гниют неодинаково. Гниение древесины быстро развивается при влажности 30...60%, которая наблюдается в подземной части приставок, торцах деталей опор и местах сопряжения деталей, где долго задерживается влага. Поэтому степень гниения древесины опоры определяют на глубине 30...40 см ниже уровня земли, на уровне земли, у верхних бандажей, в местах закрепления раскосов.

По глубине и характеру распространения гниения может быть определен эквивалентный диаметр оставшейся здоровой части древесины и решен вопрос о необходимости замены той или иной детали. При проверке древесины на гниение осматривают и простукивают детали по всей их длине, измеряют глубину гниения в опасном сечении и измеряют глубину трещин.

Внешний осмотр позволяет выявить поверхностные очаги гниения (круговые или местные), трещины. При простукивании молотком (массой не более 0,4 кг) по звуку выявляют наличие внутреннего гниения.

После определения опасного сечения, наиболее подверженного гниению, измеряют глубину гниения специальными пружинными приборами, а при отсутствии таких приборов — шупом или буравчиком.

При измерении глубины гниения прибором ПД-1 в древесину погружают иглу и прибор показывает усилие прокалывания. Границу здоровой древесины определяют по резкому изменению усилия прокалывания. Гниющие детали (стойки, приставки и т. д.) измеряют в трех точках по окружности детали. Среднюю глубину поверхностного гниения $b_{ср}$ в каждом сечении определяют как среднее арифметическое результатов измерений:

$$b_{ср} = \frac{b_1 + b_2 + b_3}{3}.$$

Диаметр здоровой части древесины (эквивалентный диаметр)

$$d_3 = D - 2b_{\text{ср}},$$

где D — наружный диаметр детали.

Детали опоры бракуют, если диаметр здоровой части древесины меньше допустимого в эксплуатации, определяемого расчетом опоры на механическую прочность.

Наименьшие допустимые диаметры основных деталей опор высотой 7,2 м линии электропередачи, несущей до 9 проводов (5 проводов марки АС50 и 4 провода марки ПСО4), приведены в таблице 11.

Таблица 11

Тип опоры	Наименьший допустимый диаметр стойки или приставки у земли, см
Одноствоечная 0,4 кВ	17
А-образная концевая	17
А-образная угловая	18

При полном внутреннем загнивании и толщине здорового слоя меньше 2 см деталь подлежит немедленной замене. Если эквивалентный диаметр больше расчетного на 2...4 см, деталь остается в эксплуатации с ежегодной проверкой, а при большем превышении эквивалентного диаметра над расчетным — с проверкой через 3 года.

Сквозные трещины, крупные сучки ослабляют древесину, чтобы это учесть, эквивалентный диаметр уменьшают на 1...2 см.

Проверка состояния железобетонных опор и приставок. В процессе изготовления, транспортировки и эксплуатации в железобетонных опорах и приставках могут возникать трещины. Незначительные трещины не вызывают особых опасений, но при увеличении их размеров влага проникает в них, вызывает коррозию арматуры и механическая прочность опоры резко снижается.

При проверке состояния железобетонных опор и приставок их осматривают, измеряют ширину раскрытия трещин, определяют размеры раковин, сколов. На железобетонных опорах допускаются раковины и выбоины размером не более 10 мм (по глубине, ширине, длине) и по числу не более двух на 1 м длины. Обнаруженные трещины промазывают полимерцементным раствором и краской.

Проверка заземляющих устройств. С течением времени сопротивление заземляющих устройств может изменяться. В основном это происходит из-за непостоянства удельного сопротивления грунта, которое в широких пределах изменяется от содержания влаги в почве. Кроме этого, может изменяться сечение заземлителей, заземляющих проводников вследствие разрушения коррозией

или механического повреждения элементов заземляющего устройства.

Заземляющие устройства осматривают, измеряют их сопротивление.

При проверке заземляющих устройств выборочно вскрывают грунт. Обращают внимание на глубину заложения (обычно не менее 0,5 м, а на пахотной земле — 1 м), на размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников. Например, диаметр круглых заземлителей и заземляющих проводников должен быть

не менее 6 мм, при прямоугольной форме сечения — не менее 48 мм².

Сопротивление заземляющих устройств следует измерять в периоды наименьшей проводимости почвы: летом — при наибольшем просыхании почвы, зимой — при наибольшем промерзании. Сопротивления заземляющих устройств измеряют специальными приборами типа МС-07 и М-416. Принцип действия прибора М-416 основан на компенсационном методе измерения с применением вспомогательного токового заземлителя и потенциального электрода (зонда) (рис. 48). Токовый зонд устанавливают для создания цепи переменного тока, получаемого от собственного электронного преобразователя постоянного тока батареи в переменный, через испытуемое заземляющее устройство. При помощи потенциального электрода создают вспомогательную цепь встречного компенсационного тока через испытуемый заземлитель. Путем изменения сопротивления (тока) во вспомогательной цепи создают режим полной компенсации и по положению движка реохорда делают отсчет. Потенциальный зонд располагают на расстоянии 20...25 м от опоры.

Для надежной работы плавких вставок предохранителей и отключения автоматов при однофазном коротком замыкании в конце петли сопротивление петли фаза — нуль должно быть таким, чтобы возникший ток короткого замыкания превышал по крайней мере в 3 раза номинальный ток плавкой вставки и в 1,25...1,4 раза ток отключения мгновенного расцепителя автомата. Для этого в сетях с занулением для наиболее удаленных электроприемников не реже чем 1 раз в 5...6 лет измеряют сопротивление петли фаза — нуль. В настоящее время для этой цели существуют специальные приборы типа М-417 для контроля сопротивления цепи фаза — нуль без отключения питающего напряжения.

Проверка расстояний от провода до поверхности и различных объектов на пересечениях. В процессе эксплуатации стрелы провеса и габариты ВЛ могут изменяться вследствие вытягивания про-

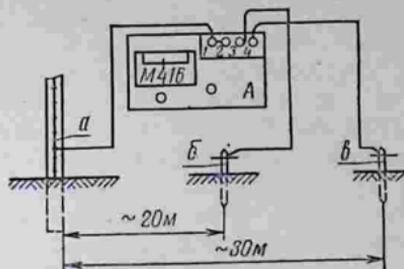


Рис. 48. Схема измерения сопротивления заземления опоры прибором М-416:

а — спуск к заземляющему устройству; б — потенциальный зонд; в — токовый зонд.

водов, проскальзывания их в креплениях на изоляторах, наклон опор, изменения конструкции опор при ремонтных работах на линиях, прокладки под ними дорог и т. п. Поэтому стрелы провеса габариты линий измеряют тогда, когда их соответствие проектным данным вызывает сомнение.

Габариты ВЛ измеряют без снятия и со снятием напряжения.

Без снятия напряжения габариты линий измеряют теодолитами, специальными оптическими угломерными приборами или изолирующими штангами. Наиболее точный из них — теодолит. Им измеряют угол α между прямой, соединяющей провод с местом установки прибора, и прямой, соединяющей прибор с проекцией точки провода на земле. Затем по известным формулам тригонометрии расчетным путем определяют расстояние h между проводом и землей. На горизонтальном участке трассы $h = D \operatorname{tg} \alpha + i$, где D — горизонтальное расстояние от теодолита до проекции провода; i — высота теодолита от земли.

Для непосредственного измерения габаритов линии применяют изолирующие штанги. Один монтер касается провода линии концом штанги, другой замеряет расстояние между нижним концом штанги и землей.

Со снятием напряжения расстояния от проводов ВЛ до поверхности земли измеряют при помощи веревки, рулетки или рейки. Расстояние по горизонтали от проводов до строений, деревьев и других предметов, расположенных вблизи линий, измеряют непосредственно. Стрелы провеса измеряют угломерными приборами либо методом глазомерного визирования. Второй метод наиболее простой и точный. На стойках смежных опор закрепляют параллельно земле по одной рейке на расстоянии по вертикали от точки крепления провода, равном значению ожидаемой стрелы провеса провода для проверяемого пролета при данной температуре. Наблюдатель располагается на одной из опор так, чтобы его глаза были на уровне рейки. Монтер перемещает ее до тех пор, пока низшая точка провисания не будет находиться на прямой, соединяющей обе визирные рейки. Стрелу провеса определяют как среднее арифметическое из расстояний от точек подвеса провода до каждой рейки. Фактическая стрела провеса проводов не должна отличаться от нормируемой более чем на 5%.

§ 5. Охрана линий

Одной из причин, вызывающих повреждения на ВЛ, может быть недопустимое приближение к проводам различных механизмов, набросы и т. д. Правилами охраны электрических сетей напряжением до 1000 вольт установлены охраняемые зоны и минимально допустимые расстояния между линиями электропередачи и ближайшими зданиями, сооружениями, а также зелеными насаждениями.

Охраняемая зона воздушной линии электропередачи (за исключением ответвлений к вводам в здания) представляет собой полосу,

ограниченную параллельными прямыми, отстоящими от проекций крайних проводов на поверхность земли на 2 м с каждой стороны. Для кабельных линий охранный зона — это полоса, ограниченная параллельными прямыми, отстоящими от крайних кабелей на 1 м с каждой стороны, а при прохождении под тротуарами — на 0,6 м в сторону здания и на 1 м в сторону проезжей части улицы.

В пределах охранных зон линий без согласия эксплуатационной организации запрещается проводить строительные и монтажные работы, устраивать спортивные площадки и площадки для игр, складывать корма, топливо и другие материалы, устраивать проезды для машин и механизмов, имеющих общую высоту от поверхности земли более 4,5 м, а также стоянки автомобильного и гужевого транспорта.

Запрещается выполнять всякого рода действия, которые могут привести к повреждениям линии, и, в частности, делать набросы на провода, привязывать и приставлять к опорам посторонние предметы, влезать на опоры.

Выполнять вблизи воздушных линий электропередачи работы с использованием различного рода механизмов можно лишь при условии, что расстояние по воздуху от механизма или от выдвинутой его части до ближайшего провода, находящегося под напряжением, составляет не менее 1,5 м. На автомобильных дорогах в местах пересечения их с линией электропередачи с обеих сторон устанавливают сигнальные знаки, указывающие допустимую высоту движущегося транспорта с грузом.

Для предупреждения поврежденных ВЛ необходимо:

а) ознакомить руководство предприятий, расположенных в зоне электросетей, с правилами охраны электрических сетей;

б) оказывать помощь в проведении инструктажа о правильной организации работ вблизи ВЛ среди рабочих указанных предприятий;

в) проводить разъяснительную работу в школах, технических и профессиональных училищах об опасности и недопустимости детских игр под проводами ВЛ и об ущербе, к которому может привести отключение ВЛ.

§ 6. Ремонт воздушных линий

Планово-предупредительные ремонты. Проведение планово-предупредительных ремонтов содействует бесперебойности надежной работы воздушных линий электропередачи, предотвращает преждевременный износ и разрушение элементов линий вследствие нарушения нормального режима работы и воздействия окружающей среды. Планово-предупредительные ремонты ВЛ напряжением до 1000 В подразделяют на эксплуатационное обслуживание (текущий ремонт) и ремонт. Эксплуатационное обслуживание — это основное мероприятие, обеспечивающее нормальную работу ВЛ и увеличение срока их службы. Своевременное устранение и ликви-

дация отдельных мелких повреждений, возникающих в процессе эксплуатации, предупреждает дальнейшее их развитие и предохраняет отдельные конструкции от преждевременного износа. К эксплуатационному обслуживанию относят и систему осмотров ВЛ, которая совместно с проводимыми профилактическими испытаниями позволяет планировать объемы, сроки, а также расход материалов и изделий на капитальные ремонты ВЛ. Во время эксплуатационного обслуживания выявляют и устраняют следующие дефекты:

- а) обрыв или ослабление проволочных бандажей;
- б) набросы на провода посторонних предметов;
- в) искрение в местах соединений;
- г) ослабление вязки к штыревым изоляторам;
- д) обрыв заземляющих проводников на опоре;
- е) коррозия или обрывы отдельных проволок троса оттяжек;
- ж) наклон и искривление стоек опор;
- з) трещины и щели в железобетонных опорах и т. п.

Во время ремонтов проводится комплекс технических мероприятий по восстановлению первоначальных эксплуатационных характеристик как всей ВЛ, так и отдельных ее элементов и конструкций.

Воздушные линии на деревянных опорах ремонтируют через каждые три года; воздушные линии на железобетонных опорах ремонтируют через шесть лет. Эти сроки могут быть изменены в зависимости от состояния линии, определяемого на основании результатов осмотров, профилактических измерений и проверок. Первый ремонт ВЛ на деревянных опорах проводят в зависимости от результатов осмотров, профилактических измерений и проверок, но не позднее чем через 6 лет эксплуатации.

Ремонтные работы на ВЛ делают на следующие этапы:

- 1) составление годового, месячного планов и плана-графика ремонтов;
- 2) подготовка к ремонту;
- 3) проведение ремонтных работ;
- 4) оформление документации.

Годовой и месячный планы составляют на основании записей в журнале неисправностей, сделанных в процессе эксплуатации при проведении осмотров, профилактических измерений и испытаний, в том числе измерений загнивания древесины и сопротивления заземлений. При составлении планов учитывают также степень оснащенности предприятия механизмами и транспортом. При составлении плана-графика ремонтов для уменьшения продолжительности отключения потребителей электрической энергии следует учитывать графики отключений и ремонтов питающих линий и подстанций высокого напряжения.

Все подготовительные работы должны быть выполнены заблаговременно, до отключения линии, например, подготовка арматуры, древесины, провода, метизов, комплектование ремонтных бригад,

выделение средств механизации, приспособлений и транспорта, оформление разрешения и выписка нарядов на проведение работ. Количество выделенного инструмента, приспособлений и инвентаря должно обеспечивать возможность выполнения всех ремонтных и профилактических работ на ВЛ. При предварительном планировании необходимых для капитального ремонта ВЛ материалов руководствуются нормами, приведенными в таблице 12.

Таблица 12

Материал	Норма расхода материала на 1 км линии на опорах				
	из непропитанной древесины	из пропитанной древесины	из непропитанной древесины с железобетонными приставками	из пропитанной древесины с железобетонными приставками	железобетонных
Лес столбовой пропитанный, м ³	1,3	0,64	0,9	0,44	—
Сборный железобетон, м ³	—	—	0,05	0,044	0,1
Провод голый алюминиевый, кг	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3
Провод стальной оцинкованный одножильный, кг	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Проволока (катанка), кг	8,5	4,2	5,6	4,2	1,5
Сталь мелкосортная, кг	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Изоляторы, шт.	7	7	7	7	7
Карболка, кг	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Антисептическая паста, кг	1,5	—	—	—	—
Битум, кг	1,5	—	—	—	—
Крюки, штыри, кг	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4

По окончании ремонта оформляют соответствующую документацию на все виды выполненных работ, после чего персонал службы распределительных сетей принимает работы. Характер ремонтных работ на опорах во многом зависит от материала, из которого они изготовлены.

Ремонт деревянных опор. При проведении ремонта ВЛ на деревянных опорах заменяют целые опоры или отдельные загнившие детали, защищают опоры от загнивания антисептированием, подправляют опоры, ремонтируют оттяжки и узлы их крепления, подтягивают бандажи и наносят на них антикоррозионное покрытие.

Самый опасный порок деревянных опор — подверженность древесины загниванию. В результате жизнедеятельности гнилостных грибов древесина со временем разрушается и теряет механическую прочность. Чтобы предотвратить гниение древесины, ее пропитывают антисептирующими веществами. Если средний срок службы опор из непропитанной сосны составляет 5 лет, то пропитка антисептиком повышает срок службы опор до 15 лет. Загнивание деталей деревянных опор проверяют не реже чем через 3 года. Опоры, выполненные из антисептированной древесины, допол-

поверхности пропитывают до появления массового загнивания. В опорных пропитываемых маслянистыми антисептиками, через 10 лет устанавливаются антисептические бандажки, а на опорах, пропитанных водорастворимыми антисептиками, их ставят через пять лет.

Антисептические бандажки изготавливают из толи, рубероида или пергамина шириной 50 см. На них наносят антисептическую пасту. Применяют также уралитовую, фтористонатриевую водорастворимые антисептики.

В условиях эксплуатации иногда выполняют частичную обработку древесины антисептиком. При этом пастой покрывают следующие части:

- а) все подземные части опоры на глубину опасного загнивания и на 30 см выше уровня земли;
- б) все торцовые части и верхнюю поверхность горизонтальных и наклонно расположенных деталей опор;
- в) все трещины шириной более 2 мм;
- г) места сочленения деталей опор между собой.

Поверхность бандажки и части, обработанные антисептиком, покрывают слоем гидроизоляции (на основе нефтяного битума или каменноугольного лака). Антисептики наносят вручную (кистями, совками и т. д.), а также механизированным способом — распылителем.

Для выправки опор вдоль и поперек оси линии используют лебедки или другой тяговый механизм. После выправки опоры плотно трамбуют грунт у основания, а ослабленные бандажки подтягивают.

Тросы оттяжек и узлы крепления для защиты от коррозии смазывают антикоррозионным покрытием АМС-3, ЗЭС, ПВК, ПП-95 или глифталевым лаком. Оттяжки из круглой стали окрашивают. Если число оборванных или разрушенных коррозией проволок в тросе составляет 20% и более, оттяжки подлежат замене.

Загнившие приставки или опоры с эквивалентным диаметром менее допустимого заменяют.

Ремонт железобетонных опор. При ремонте ВЛ на железобетонных опорах выполняют следующие работы:

- 1) заменяют отдельные опоры;
- 2) заделывают трещины, выбоины, сколы;
- 3) выправляют опоры;
- 4) восстанавливают антикоррозионные покрытия металлических частей.

Железобетонные опоры подлежат замене, если есть дефекты, перечисленные в таблице 13.

Опоры, в которых раковины, трещины, сколы не превышают допустимых размеров, ремонтируют. Перед заделкой раковин и трещин поверхность бетона очищают от грязи, пыли и отслоений стальными щетками или скребками. Место, подвергающееся ремонту, смачивают 10%-ным раствором поливинилацетатной эмульсии. Затем шпателем, кельмой или мастерком втирают (вмазывают)

Конструкция железобетонной опоры	Характеристика дефекта, его причины и меры устранения
Центрифугированная вибрированная с ненапряженной и напряженной стержневой арматурой С напряженной проволочной и прядевой арматурой Все типы и конструкции	<p>Поперечные трещины шириной раскрытия более 1 мм</p> <p>Поперечные трещины шириной раскрытия более 0,6 мм</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Продольные трещины шириной раскрытия более 0,3 мм, шаг λ более в одном сечении 2. Раковины в бетоне размером более 20×20×20 мм 3. Значительное смещение каркаса арматуры по отношению к оси стойки

ют) полимерцементный раствор. Через час место заделки снова смачивается водным раствором эмульсии. Полимерцементные растворы готовят из цемента, песка и поливинилацетатной эмульсии.

Железобетонные опоры подлежат ремонту, если они имеют дефекты, перечисленные в таблице 14.

Таблица 14

Конструкция железобетонной опоры	Характеристика дефекта	Способ устранения дефекта
Центрифугированная вибрированная опора с ненапряженной и напряженной стержневой арматурой	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поперечные трещины шириной раскрытия от 0,3 до 0,6 мм 2. Поперечные трещины шириной раскрытия более 0,6 мм 	<p>Окраска полимерцементной краской в зоне трещин</p> <p>Заделка трещин полимерцементным раствором</p>
Опоры с ненапряженной проволочной и прядевой арматурой	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поперечные трещины шириной раскрытия от 0,05 до 0,3 мм 2. Поперечные трещины шириной раскрытия от 0,3 до 0,6 мм 	<p>Окраска полимерцементной краской в зоне трещин</p> <p>Заделка трещин полимерцементным раствором</p>
Все типы и конструкции	<ol style="list-style-type: none"> 1. Продольные трещины шириной раскрытия от 0,05 до 0,3 мм 2. Продольные трещины шириной раскрытия от 0,3 до 0,6 мм, но не более двух в одном сечении 3. Пористость бетона 	<p>Окраска полимерцементной краской в зоне трещин</p> <p>Заделка полимерцементным раствором</p> <p>То же</p>

Железобетонные опоры выправляют так же, как и деревянные. Опоры с креном и односторонней деформацией после выправки можно усиливать оттяжкой.

Если антикоррозионные покрытия металлических элементов опор повреждены, то сначала поверхности элементов очищают, а затем наносят на них новые защитные покрытия.

Ремонт проводов. Вследствие воздействия вибрации проводов ВЛ, чрезмерных усилий, возникающих в аварийных режимах, а также в процессе монтажа отдельные проволоки и места соединений проводов могут быть повреждены. В процессе ремонта проводов ВЛ выполняют следующее:

- а) накладывают бандаж;
- б) переделывают соединения;
- в) заменяют дефектные участки;
- г) регулируют (перетягивают) провода.

Виды ремонта проводов приведены в таблице 15.

Таблица 15

Вид ремонта проводов	Допускаемое число поврежденных проволок на проводах марки				
	A16...A70 (7 проволок)	A16...A25 (3 проволоки)	AC16...AC70	ПС25	ПС35
Наложение бандажа	1	—	2	1	2
Замена участка провода	2	1	3	2	3

При повреждении отдельных проволок делают бандаж, навивая вокруг провода отрезок проволоки из такого же материала или навивая концы оборванной проволоки. При выпучивании верхнего повива провода (на длине 100...150 мм) на поврежденное место накладывают ремонтную муфту длиной 200 мм или две муфты меньшей длины.

Натяжение проводов регулируют в случаях, когда габариты линий и стрелы провеса не отвечают требованиям ПУЭ. Это может произойти вследствие проскальзывания провода в вязках штырезов, а также при изменении отметки уровня поверхности под ВЛ при строительных работах (прокладка дорог, тротуаров и т. п.).

Ремонт заземляющих устройств. При ремонте заземляющих устройств заменяют отдельные заземлители, заземляющие проводников и целые заземляющие устройства, приводят значение сопротивления заземляющих устройств в соответствие с требованиями ПУЭ.

Под воздействием окружающей среды заземляющие проводники, заземлители подвергаются коррозии, уровень грунтовых вод и влажность грунта изменяются в течение года. Со временем сопротивление заземляющего контура может увеличиваться. Заземляющие спуски от воздействия вибрации, коррозии могут ломаться. Целость заземляющих спусков восстанавливают сваркой. Чтобы

уменьшить значение сопротивления заземляющих устройств, забивают в землю дополнительные вертикальные заземлители. В скальных грунтах прокладывают дополнительные лучевые заземлители по поверхности скальных пород, засыпают их землей при толщине разборного слоя более 0,1 м и заливают цементным раствором при толщине разборного слоя менее 0,1 м.

§ 7. Техника безопасности при эксплуатации и ремонте воздушных линий

Работы на ВЛ относятся к особо опасным, так как часто связаны с подъемом на опоры и иногда приходится работать на линии, находящейся под напряжением или вблизи других действующих линий. С точки зрения техники безопасности на ВЛ работают в следующих условиях:

- а) на отключенных линиях;
- б) на линиях, находящихся под напряжением;
- в) на отключенных линиях при совместной подвеске проводов с другими линиями напряжением до и выше 1000 В;
- г) на линиях, находящихся вблизи других действующих линий электропередач.

Работы на ВЛ можно начинать только после выполнения необходимых организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасность.

Организационные мероприятия — это оформление наряда или распоряжения (письменное или устное), допуск к работе, надзор во время работы и оформление окончания работ. По наряду выполнять работы на неотключенных линиях с подъемом на опору выше 3 м от земли.

К техническим мероприятиям относятся отключение напряжения, принятие мер от случайной подачи напряжения, вывешивания плакатов «Не включать — работают люди», проверка отсутствия напряжения и наложение заземлений.

Переносное заземление на линии накладывают на опоре, ближайшей к месту проведения работ. При работах, связанных с нарушением целостности проводов, заземление устанавливают с двух сторон поврежденного участка. Накладывать, крепить и снимать заземление нужно в диэлектрических перчатках или при помощи изолирующих штанг.

На деревянных или железобетонных опорах, имеющих спуск к повторным грозозащитным заземлениям, переносное заземление присоединяют к этому спуску. Если этого спуска нет, то к искусственному заземлителю, забитому в землю металлическому стержню или буру, ввернутому на глубину 0,5...1,0 м. На ВЛ с заземленной нейтралью на месте работ переносные заземления можно присоединять к нулевому проводу.

Все лица, обслуживающие линии, должны пройти медицинское обследование и иметь удостоверение о допуске к работе.

Как правило, одновременно на ВЛ должны работать не менее двух человек.

Одно лицо может осматривать линию без наряда, не поднимаясь на опоры. Осматривающий линию должен считать, что она под напряжением, так как даже на отключенную линию в любой момент может быть подано напряжение. При обходе в темное время суток следует идти по краю трассы, чтобы случайно не наступить на оборванный провод. Оборванный провод может убрать осматривающий линию, обязательно применив изолирующие средства.

При ремонте отключенной линии перед подъемом на опору необходимо убедиться в прочности ее основания. Запрещается подниматься на опору, основание которой подгнило более чем на 2,5... 3,0 см по радиусу, без предварительного ее закрепления оттяжками.

Подниматься на опору разрешается с применением когтей или специальных приспособлений. Работая на опорах, следует всегда стоять на обеих ногах, прикрепившись к опоре цепью монтерского пояса.

Запрещается подниматься на сильно наклонившуюся опору до ее выпрямления и закрепления в грунте. Перед подъемом на опору необходимо проверить исправность предохранительного пояса, когтей и других защитных средств — диэлектрических перчаток, инструмента с изолированными рукоятками, приспособлений.

При работе без снятия напряжений с подъемом на опору следует одежду застегнуть на все пуговицы, а рукава опустить и застегнуть у кистей рук.

Если при работе не исключена возможность прикосновения или приближения на опасное расстояние к проводам другой действующей линии напряжением выше 1000 В, эту действующую линию необходимо отключить и заземлить вблизи места работы.

Глава III

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

§ 1. Общие положения

В соответствии с Правилами устройства электроустановок, монтаж кабельных линий, сооружаемых строительными-монтажными организациями, выполняют под техническим надзором эксплуатационного персонала. Выполняющий надзор принимает скрытые работы, к которым относятся процесс укладки кабеля, соблюдение габаритов в местах сближений и пересечений, монтаж муфт и т. п. После ввода кабельной линии в эксплуатацию на нее заводят паспорт, в который заносят основные технические данные линии, все сведения по ее испытаниям, а затем в процессе эксплуатации — виды ремонтов и рекомендуемые максимальные токовые нагрузки.

В объем эксплуатации кабельных линий входит следующее:

- 1) контроль за токовыми нагрузками, температурными режимами и напряжением сети;
- 2) проведение осмотров трасс;
- 3) профилактические испытания и измерения;
- 4) защита металлических оболочек кабелей, проложенных в земле, от коррозии;
- 5) проведение разъяснительной работы среди населения, руководителей предприятий и учреждений.

§ 2. Соблюдение режимов по токам нагрузки

Надежность работы кабельных линий в значительной степени зависит от температуры элементов кабеля в процессе эксплуатации. Если температура кабеля выше допустимой, то изоляционные и механические свойства изоляции кабеля могут ухудшаться. На износ изоляции влияет также и электрическое поле кабеля. У кабелей более высокого напряжения воздействие электрического поля, в котором работает изоляция, сильнее, и поэтому допустимая температура жил для них меньше, чем для кабелей более низкого напряжения.

Допустимые температуры нагрева токоведущих жил определяются конструкцией кабеля (типом применяемой изоляции), рабочим напряжением, режимом его работы (длительный, кратковременный). Так, длительно допустимые температуры токоведущих жил не должны превышать следующих значений, °С:

для кабелей с пропитанной бумажной изоляцией напряжением до 1 кВ	80
то же, но напряжением до 10 кВ	60
для кабелей с резиновой изоляцией	65
для кабелей по ВТУ в полихлорвиниловой оболочке	65

Допустимые токовые нагрузки для нормального длительного режима кабельной линии определяют по таблицам, приведенным в электротехническом справочнике. Они зависят от способа прокладки кабеля и вида охлаждающей среды (земля, воздух).

Для кабелей, проложенных в земле, длительно допустимые токовые нагрузки приняты из расчета прокладки одного кабеля в траншее на глубине 0,7...1,0 м при температуре земли 15°С (288 К). Для кабелей, проложенных на воздухе, температура окружающей среды принята равной 25°С (298 К). Если расчетная температура t_p окружающей среды отличается от принятых условий t_n , то при определении допустимых токовых нагрузок, как и для воздушных линий, вводят поправочный коэффициент k_1 .

За расчетную температуру почвы принимают наибольшую среднемесячную температуру (из всех месяцев года) на глубине прокладки кабеля. За расчетную температуру воздуха принимают наибольшую среднюю суточную температуру, повторяющуюся не менее трех дней в году.

При прокладке в одной траншее нескольких кабелей вводят поправочный коэффициент k_2 , зависящий от числа параллельно проложенных кабелей и расстояния между ними в свету.

Если необходимо применить оба поправочных коэффициента длительно допустимую нагрузку $I_{\text{доп}}$ определяют по формуле

$$I_{\text{доп}} = k_1 k_2 I_n.$$

Длительно допустимые нагрузки определяют по участку трассы кабельной линии с наихудшими условиями охлаждения, если длина участка более 10 м.

Недогруженные кабельные линии (коэффициент предварительной нагрузки не более 0,8) могут выдерживать кратковременные перегрузки по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам нормального режима в пределах, приведенных в таблице 16.

Таблица 16

Коэффициент предварительной нагрузки	Вид прокладки кабеля	Относительные перегрузки при длительности максимума нагрузки, ч		
		1,5	2,0	3,0
0,6	В земле	1,35	1,3	1,15
0,6	В воздухе	1,25	1,15	1,10
0,6	В трубах (в земле)	1,2	1,10	1,00
0,8	В земле	1,2	1,15	1,10
0,8	В воздухе	1,15	1,10	1,05
0,8	В трубах (в земле)	1,10	1,05	1,00

В аварийных режимах для кабельных линий допускается относительная длительная перегрузка в течение 5 суток в пределах, указанных в таблице 17.

Таблица 17

Коэффициент предварительной нагрузки	Вид прокладки кабеля	Относительные перегрузки при длительности максимума нагрузки, ч		
		1	3	6
0,6	В земле	1,5	1,35	1,25
0,6	В воздухе	1,35	1,25	1,25
0,6	В трубах (в земле)	1,30	1,20	1,15
0,8	В земле	1,35	1,25	1,20
0,8	В воздухе	1,30	1,25	1,25
0,8	В трубах (в земле)	1,20	1,15	1,10

Для определения возможности повышения длительно допустимых нагрузок кабельных линий по сравнению с расчетными рекомендуется контролировать температурные режимы кабелей опытным путем. Для этого измеряют температуру металлических оболочек.

лочек кабелей $t_{об}$, а затем определяют температуру жилы кабеля $T_{ж}$ по формуле

$$T_{ж} = t_{об} + \Delta t_{каб},$$

где $\Delta t_{каб}$ — перепад температур от оболочки до жилы кабеля; $t_{об}$ — температура по оболочке, измеренная при опыте, °C (K).

Темперопад $\Delta t_{каб}$ может быть определен по формуле

$$\Delta t_{каб} = \frac{I_{оп}^2 n \rho S_{и}}{100q},$$

где $I_{оп}$ — измеренная длительная максимальная нагрузка кабеля, А; n — число жил кабеля; q — удельное сопротивление меди при температуре жилы, Ом·мм²/м; q — сечение жилы кабеля, мм²; $S_{и}$ — сумма тепловых сопротивлений изоляции и защитных покрытий кабеля, град·см/Вт.

Если в результате измерений температура жилы кабеля $T_{ж}$ окажется ниже допустимой величины $T_{ж.доп}$, то нагрузку кабеля определяют по формуле

$$I_{доп} = I_{оп} \sqrt{\frac{T_{ж.доп} - t_p}{T_{ж} - t_p}},$$

где $I_{оп}$ и $T_{ж}$ — измеренная нагрузка и температура жилы кабеля; t_p — температура окружающей среды.

Температуру кабелей рекомендуется измерять при самых неблагоприятных для работы условиях: максимальной нагрузке и наивысшей температуре окружающей среды. При равномерном графике нагрузки кабельной линии в течение суток температуру оболочки кабеля достаточно измерить дважды с интервалом 1...2 ч. Если график нагрузки неравномерен, температуру оболочки кабеля измеряют в течение суток через каждые 1...2 ч, измеряя одновременно значение нагрузки. По полученным данным строят суточные графики температуры оболочки кабеля и его нагрузки. При подсчете температуры жилы кабеля за $t_{об}$ принимают максимальное значение температуры оболочки по графику, а за $I_{оп}$ — максимальное значение нагрузки длительностью не менее 2 ч, хотя эти значения могут быть сдвинуты по времени.

Температуру окружающей среды для кабелей, проложенных в туннелях-каналах, измеряют на входе и выходе из них, для кабелей, проложенных в земле, — на расстоянии 3...5 м от крайнего кабеля на глубине его прокладки.

На ответственных кабельных линиях, отходящих от распределительных устройств, с постоянным дежурным персоналом контроля за токовыми нагрузками ведут постоянно по стационарному измерительным приборам, показания которых заносят в суточные ведомости. Для наглядности на шкалах щитовых амперметров красной чертой отмечен допустимый ток кабельной линии. При отсутствии дежурного персонала нагрузки кабельных линий контролируют пе-

риодически 2...3 раза в год: один раз в летний и 1...2 раза в осенне-зимний максимумы.

Одновременно с контролем токовых нагрузок измеряют рабочее напряжение кабельных линий. Рабочее напряжение линий в нормальных условиях эксплуатации не должно превосходить номинальное более чем на 15%. На основании результатов контроля токовых нагрузок, температурных режимов, напряжения сети инженерно-технический персонал проводит мероприятия по обеспечению экономичной и безаварийной работы кабельной сети.

§ 3. Осмотры кабельных линий

Надежность работы кабельных линий в значительной мере зависит от надзора за состоянием трасс и кабелей, который заключается в проведении периодических обходов и осмотров. Систематические осмотры трасс кабелей, проложенных в земле и туннелях, монтеры проводят в сроки, установленные местными инструкциями, но не реже одного раза в 3 месяца, а осмотры концевых муфт и кабельных колодцев — один раз в год.

Сроки контрольных осмотров кабельных линий инженерно-техническим персоналом устанавливаются с учетом местных условий.

Внеочередные обходы трасс проводят весной во время таяния снега, ледоходов, паводков, после ливней и в период осенних дождей, когда наблюдаются наибольшие размягчения и размыв грунта, в результате чего возможны повреждения кабелей.

При осмотрах необходимо проверять, чтобы на трассе не выполнялись работы, не согласованные с эксплуатирующей организацией: строительство сооружений, посадка деревьев, устройство складов, свалок, земляные работы на глубине более 0,3 м и планировка грунта при помощи механизмов.

Кроме этого, при обходах кабельных линий необходимо:

- а) проверить, нет ли размывов, провалов, креплений, угрожающих целостности кабелей в местах пересечений кабелей с канавами, кюветами и оврагами;
- б) убедиться в наличии и проверить состояние постоянных предупредительных плакатов, пикетов-ориентиров на трассе линии;
- в) в местах перехода кабелей на стены зданий или опоры воздушных линий электропередачи проверить защиту кабелей от механических повреждений, исправность концевых муфт и т. п.;
- г) осмотреть соединения стыков рельс в местах пересечений и сближений кабельных линий с электрифицированными железными дорогами на расстоянии не менее 100 м в обе стороны от пересечения или сближения.

Перечень вопросов, на которые необходимо обращать внимание, значительно расширяется при осмотрах открыто проложенных кабелей, кабелей, проложенных в воде, кабельных колодцев (состояние антикоррозионных покрытий, наличие маркировки и т. д.).

Все дефекты, обнаруженные в результате обходов и осмотров

трасс кабельных линий, записывают в журнал. Кроме этого, о дефектах, требующих немедленного устранения, обходчик обязан срочно сообщить непосредственному начальнику. В дальнейшем инженерно-технический персонал на основании просмотра журналов дефектов намечает мероприятия и сроки по их устранению. Если объем работ большой или необходимы большие материальные затраты, работы включают в план капитального ремонта.

Если во время обхода обнаружены нарушения действующих «Правил по охране высоковольтных электрических сетей», положим, ведутся земляные работы без разрешения и согласования, необходимо на месте прекратить эти работы и составить акт о нарушении правил с вызовом на место представителя администрации (инспекции) либо органов милиции. Если земляные работы вблизи кабельных трасс согласованы с эксплуатирующей организацией, то в проекте на эти работы должны быть предусмотрены специальные меры по обеспечению сохранности кабельных линий.

В течение всего времени проведения работ следует обеспечить периодический контроль за соблюдением предписанных мер по обеспечению сохранности кабельной линии.

По правилам технической эксплуатации землеройные машины могут работать на расстоянии не ближе 1 м от кабелей. Отбойные молотки для рыхления грунта над кабелями можно применять лишь на глубине не более 0,4 м при нормальной глубине заложения кабелей. Клин-бабы и другие аналогичные ударные механизмы разрешается применять на расстоянии не ближе 5 м от кабелей.

В зимнее время при работе в зоне расположения кабелей приходится предварительно отогревать грунт. Чтобы не повредить кабель источником тепла, слой грунта над кабелями должен быть не менее 250 мм.

§ 4. Профилактические испытания и измерения

В целях своевременного выявления и устранения дефектов изоляции кабеля, предупреждения аварийных повреждений кабельные линии в процессе эксплуатации подвергают профилактическим испытаниям, которые проводят не реже одного раза в год. Кабели, находящиеся в благоприятных условиях по нагрузке (температурному режиму), способу прокладки (исключена возможность механических повреждений), испытывают не реже одного раза в 3 года.

Внеочередные испытания кабельных линий проводят после ремонтных работ и окончания земляных работ на трассе кабельных линий. Во время проведения профилактических испытаний проверяют следующее:

- а) сопротивление изоляции;
- б) целостность жил и фазировку;
- в) температуру кабеля;
- г) сопротивление заземления концевых заделок;
- д) измеряют блуждающие токи.

Испытание кабелей проводят путем измерения сопротивления изоляции мегомметром на напряжение 2500 В, которое должно быть не ниже 0,5 МОм. Мегомметром проверяют не только качество изоляции, но и отсутствие обрывов жил, короткого замыкания между жилами и на землю и т. д. Испытание мегомметром — основное для кабельных линий после выполнения на них монтажных и ремонтных работ.

Многие повреждения изоляции кабелей начинаются с потери герметичности оболочек кабеля. В этих случаях проникновение влаги ускоряет ухудшение изоляции. Поэтому обычно профилактические испытания проводят в теплое время года, в период наибольшей вероятности ухудшения изоляции.

Целость жил и фазировку кабельной линии в эксплуатации проверяют после перемонтажа муфт или отъединения жил кабеля, пользуясь при этом мегомметром и указателем напряжения.

Температуру кабелей измеряют в соответствии с указаниями местных инструкций на тех участках трассы, на которых возможны перегревы кабелей. Температуру нагрева измеряют термометрами, термосопротивлениями и лишь в крайнем случае термометрами.

В эксплуатации сопротивление заземления концевых заделок измеряют при капитальном ремонте заземляющих устройств. В остальных случаях проверяют целостность заземляющего проводника, соединяющего концевую заделку с шиной заземляющего устройства.

Надежность работы кабельных линий определяется состоянием оболочек кабеля. Нарушение герметичности оболочек, проникновение воздуха и влаги во внутренние полости кабеля приводит к электрическому пробое изоляции. Металлические оболочки кабелей в процессе их эксплуатации могут разрушаться вследствие химического или электрического взаимодействия с окружающей средой. Наиболее подвержены разрушению оболочки кабельных линий, проложенных в земле, от электролитической коррозии, вызываемой блуждающими токами. Источником блуждающих токов является электрифицированный рельсовый транспорт, где в качестве обратного провода используются рельсовые пути.

Вследствие большого активного сопротивления рельсовых путей и особенно в случаях нарушения контакта в стыках рельсов часть тока ответвляется в землю и, встречая на своем пути проводник с малым сопротивлением (металлические оболочки кабелей), идет по нему и вблизи тяговой подстанции уходит к отрицательному полюсу источника питания.

В месте ухода тока с металлической оболочки в землю (анодная зона) происходит растворение металла. Количество растворяющегося металла пропорционально силе блуждающего тока, продолжительности его действия и зависит от вида металла, из которого выполнены оболочки кабельных линий. Так, согласно расчетам, при блуждающем токе в 1 А потери за год свинца составляют 33 кг, алюминия — 3,95 кг и железа — 9 кг.

Для определения коррозионной опасности и разработки мер защиты кабельной линии в первый год эксплуатации блуждающие токи замеряют не менее двух раз. Для этого на кабельных линиях проводят комплекс испытаний, в процессе которого определяют следующее:

- разность потенциалов между оболочками кабеля и землей;
- плотность тока, стекающего с кабеля в землю;
- силу и напряжение тока, протекающего по оболочке кабеля.

Периодичность измерений в последующие годы устанавливают на основании результатов первых измерений и анализа коррозионных зон.

Для обнаружения опасных зон, где оболочки кабеля имеют положительный потенциал по отношению к земле, измеряют разность потенциалов (относительно зоны с нулевым потенциалом). Опасными считаются участки в анодных и знакопеременных зонах, где бронированные кабели проложены в малоагрессивных грунтах (удельное сопротивление почвы более $20 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) при среднесуточной токе утечки в землю более $0,15 \text{ мА/дм}^2$ и при любом токе утечки для кабелей, проложенных в агрессивных грунтах. При обнаружении опасных участков принимают меры по предотвращению разрушения кабелей электрокоррозией. Для этого применяют катодную поляризацию, протекторную защиту или электрический дренаж.

Наиболее опасными зонами являются места расположения тяговых подстанций, отсасывающих линий (линии, соединяющие различные точки рельсового пути непосредственно с отрицательной шиной источника питания), места пересечения и сближения трасс кабельных линий с рельсовыми путями.

Для проведения комплекса испытаний отрывают шурфы. При измерении потенциалов оболочек кабеля по отношению к земле по схеме, приведенной на рисунке 49, для избежания появления погрешностей от возможности появления гальванических пар заземляющий электрод выполняют из того же металла, что и оболочку кабеля (свинец, алюминий), на котором измеряют блуждающие токи.

Обычно в качестве электрода используют кусок кабеля длиной $300\text{--}500 \text{ мм}$.

При измерении плотности тока вместо милливольтметра включают миллиамперметр. Измерив весь ток, стекающий с электрода в землю $I_{\text{эл}}$, и зная площадь поверхности электрода S , определяют

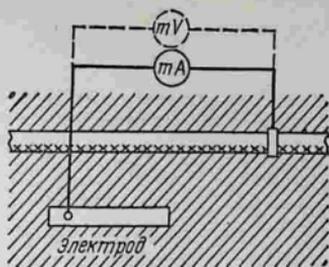


Рис. 49. Схема измерения потенциалов на оболочках кабелей и плотности стекающих токов.

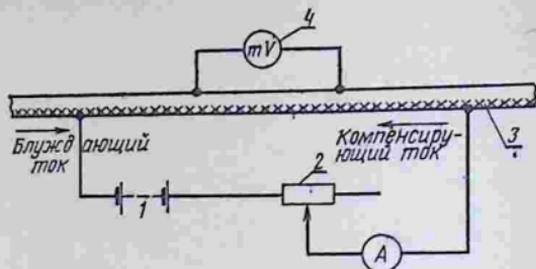


Рис. 50. Схема измерения блуждающих токов, протекающих вдоль оболочки кабеля:

1 — вспомогательная батарея; 2 — реостат; 3 — кабель; 4 — прибор.

удельную плотность тока (мА/дм²), стекающего в землю $I_{уд}$:

$$I_{уд} = \frac{I_{в.э}}{S}.$$

Сквозной ток, протекающий вдоль оболочки кабеля $I_{ск}$, желательно измерять компенсационным методом (рис. 50). По оболочке кабеля пропускают от постороннего источника ток обратного направления, который компенсирует блуждающий ток, проходящий вдоль оболочки. В момент полной компенсации показание милливольтметра будет равно нулю, а ток, пропускаемый от постороннего источника $I_{п}$, будет равен сквозному току, протекающему вдоль оболочки кабеля: $I_{ск} = I_{п}$. В связи с резко переменным характером блуждающих токов в каждом контрольном пункте их следует измерять в течение 10...20 мин, через равные промежутки времени, сделав за это время 40...50 контрольных отсчетов. По данным измерений определяют средние значения потенциалов и токов.

Полное представление о блуждающих токах в районе расположения кабельных сетей может быть получено после построения по результатам замеров диаграмм блуждающих токов на плане кабельных сетей. На основании анализа построенных диаграмм можно принять правильное решение по защите кабельных сетей от коррозии блуждающими токами.

§ 5. Определение мест повреждений на кабельных линиях

В процессе эксплуатации кабельных линий на них могут возникать различного рода повреждения. Восстановление кабельной линии электропередачи во многих случаях затягивается из-за значительной трудности определения места повреждения. Чтобы получить исходные данные для выбора наиболее подходящего метода определения повреждения, устанавливают характер повреждения:

- а) замыкание на землю одной фазы;
- б) замыкание двух или трех фаз на землю либо между собой

в) обрыв одной, двух или трех фаз, с заземлением или без заземления;

г) заплывающий пробой изоляции;

д) сложные повреждения, представляющие комбинации из вышеуказанных видов повреждений.

Для установления характера повреждения кабельную линию отключают от источника питания. От нее отключают все электроприемники и с обеих ее концов мегомметром измеряют сопротивление изоляции каждой токоведущей жилы по отношению к земле и между каждой парой жил, а также убеждаются в отсутствии обрыва токоведущих жил.

Установив характер повреждения кабельной линии, выбирают метод, наиболее подходящий для определения места повреждения в данном конкретном случае. В первую очередь с погрешностью порядка 10...40 м определяют зону, в границах которой расположено место повреждения. Затем уточняют место повреждения непосредственно на трассе.

Для определения зоны повреждения линии применяют следующие относительные методы: импульсный, колебательного разряда, петлевой, емкостный.

Уточняют место повреждения непосредственно на трассе абсолютными методами: акустическим и индукционным.

Импульсный метод основан на посылке в поврежденную линию зондирующего электрического импульса и измерении интервала времени между моментами подачи импульса и прихода отраженного импульса от места повреждения в кабеле.

Если скорость распространения импульса в кабельной линии обозначить через v , а расстояние от начала линии до места повреждения — через l_x , то время, за которое импульс проходит до точки повреждения и обратно, может быть определено из соотношения

$$t_x = \frac{2l_x}{v}.$$

Скорость распространения импульса по силовым кабелям примерно равняется 160 м/мкс. При этом условия расстояние до места повреждения определяют по формуле

$$l_x = \frac{vt_x}{2} = 80t_x.$$

На рассмотренном принципе построены приборы типов ИКЛ-5 и Р5-1А. При импульсном методе измерения может быть измерено не только расстояние до места повреждения, но и определен характер дефекта. Погрешность измерения при этом методе составляет не более 1,5% измеряемой длины кабеля.

Метод колебательного разряда позволяет определить зону повреждения кабельной линии при заплывающих пробоях. При измерении от испытательной установки напряжение постоянного тока

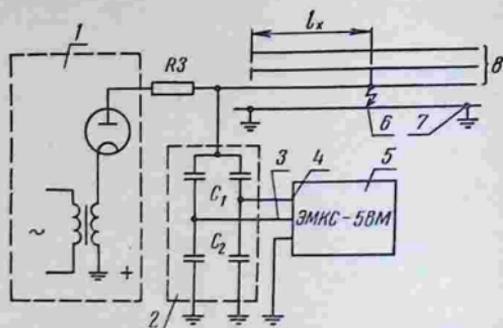


Рис. 51. Схема определения места повреждения в кабеле методом колебательного разряда:

1 — высоковольтная установка; 2 — делитель напряжения; 3 — цепь остановки; 4 — цепь пуска; 5 — прибор ЭМКС; 6 — место повреждения; 7 — металлическая оболочка; 8 — жилы кабеля.

подают на поврежденную жилу кабеля (рис. 51) и плавно поднимают до значения напряжения пробоя. В момент пробоя в месте повреждения возникает искра, имеющая небольшое переходное сопротивление, и в кабеле происходит разряд колебательного характера. Период колебаний T этого разряда соответствует времени двукратного пробега волны до места повреждения и обратно, поэтому

$$T = \frac{4l_x}{v} \quad \text{или} \quad l_x = \frac{Tv}{4},$$

где v — скорость распространения волны колебания в кабеле.

Продолжительность колебательного разряда измеряется осциллографом с однократной ждущей разверткой типа ОЖО или электронным миллисекундомером ЭМКС-58М, присоединяемыми через делитель напряжения. Погрешность метода не более 5% максимального значения шкалы, по которой проводится измерение.

Петлевой метод применяется для определения зоны повреждения кабельной линии в случаях, когда жила с поврежденной изоля-

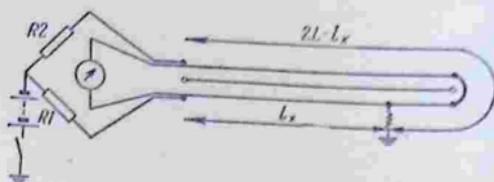


Рис. 52. Схема определения места повреждения петлевым методом.

цей (замыкание на землю) не имеет обрыва, и имеется хотя бы одна жила с хорошей изоляцией.

Метод петли заключается в непосредственном измерении сопротивления постоянному току участка поврежденной жилы от места измерения до места повреждения при помощи измерительного моста. Если с одной стороны кабеля соединить между собой поврежденную и здоровую жилы, а с другой стороны подключить два регулируемых сопротивления, получается схема моста (рис. 52).

Равновесие в мосте наступит при

$$R_2 r_0 l_x = R_1 r_0 (2L - l_x),$$

следовательно,

$$l_x = 2L \frac{R_1}{R_1 + R_2},$$

где L — полная длина кабеля; R_1 — сопротивление, присоединенное к поврежденной жиле; R_2 — сопротивление, присоединенное к исправной жиле.

Сопротивление перемычки, соединительных концов, переходных контактов может влиять на точность результатов измерений. Поэтому при втором измерении желательно поменять местами концы жил кабельной линии, присоединяемые к мосту, при этом

$$L + l_x = 2L \frac{R'_1}{R'_1 + R'_2}.$$

Измерения выполнены правильно, если

$$0,997 < \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} + \frac{R'_1}{R'_1 + R'_2} \right) < 1,003.$$

Петлевой метод применяют при небольших расстояниях до места повреждения ($l_x < 100 \dots 200$ м) и больших переходных сопротивлениях $1000 < R_n < 5000$ Ом. Погрешность определения мест повреждений составляет не более 0,1... 0,3%.

Емкостный метод используют для определения мест повреждений с обрывом одной или нескольких жил кабеля и при сопротивлении изоляции поврежденной жилы не менее 5000 Ом. Принцип метода заключается в измерении емкости оборванного участка жилы кабеля C_x , которая пропорциональна длине кабеля до места повреждения. Емкость можно измерять как на постоянном, так и на переменном токе. В практике применения емкостного метода встречаются следующие три принципиальных случая:

а) обрыв одной жилы (рис. 53, а). Измеряют емкость оборванной жилы с одного C_1 и другого C_2 конца кабеля. Расстояние до места повреждения

$$l_x = L \frac{C_1}{C_1 + C_2};$$

б) обрыв одной жилы с замыканием на землю ее половины,

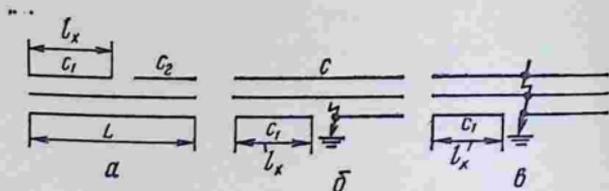


Рис. 53. Виды повреждений кабелей с обрывом жил.

$C_2=0$ (рис. 53, б). Измеряется емкость оборванной жилы и емкость целой жилы C . Расстояние до места повреждения

$$l_x = L \frac{C_1}{C};$$

в) обрыв одной жилы, все фазы имеют глухое заземление, в том числе и один конец оборванной жилы (рис. 53, в):

$$l_x = \frac{C_1}{C_0},$$

где C_0 — удельная емкость (мкФ/км) берется из справочника.

Акустический метод применяют при условии, что в месте повреждения можно создать искусственный электрический заряд, прослушиваемый с поверхности земли или воды. При возникновении разряда в поврежденном месте одновременно с электромагнитными колебаниями возникает звуковая волна, которая может быть прослушана на поверхности земли или воды. Наибольшая слышимость будет непосредственно над местом повреждения кабеля.

В качестве генератора импульсов используют обычную испытательную установку высокого напряжения постоянного тока, в схему которой дополнительно вводят зарядную емкость 3 и разрядник 2 (рис. 54).

От высоковольтной выпрямительной установки заряжается конденсатор 3 . Когда напряжение на нем достигает значения, соответствующего пробивному напряжению разрядника 2 , происходит пробой разрядника. При этом в кабель посылается импульс высокого

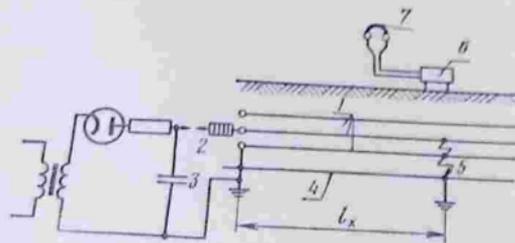
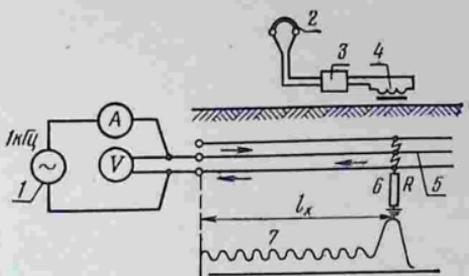


Рис. 54. Схема определения места повреждения акустическим методом:

1 — жилам кабеля; 2 — разрядник; 3 — зарядная емкость; 4 — металлическая оболочка; б — место повреждения кабеля; 6 — пьезодатчик с усилителем; 7 — телефонный лаушкини.

Рис. 55. Определение места повреждения в кабеле индукционным методом:

1 — генератор звуковой частоты; 2 — телефонные наушники; 3 — усилитель; 4 — приемная рамка; 5 — жилы кабеля; 6 — место повреждения; 7 — кривая слышимости вдоль трассы кабеля.



напряжения. Достигнув места повреждения, этот импульс создает пробой — искровое перекрытие с жилы на оболочку кабеля. На поверхности земли искровые разряды прослушивают акустическим индукционным прибором типа АИП-3, который состоит из пьезоакустического датчика, усилителя с батарейным питанием, головного телефона и выносной индукционной рамки.

Индукционный метод применяют для определения места повреждения кабельной линии непосредственно на трассе. Он основан на принципе улавливания магнитного поля над кабелем, создаваемого током звуковой (тональной) частоты, пропускаемым по кабельной линии. По поврежденной жиле (рис. 55) кабеля пропускают ток от генератора тональной частоты 800...1000 Гц. При этом вокруг кабеля образуется магнитное поле, напряженность которого пропорциональна силе тока в кабеле, глубине залегания и расстоянию от оси кабеля.

Оператор, продвигаясь вдоль трассы кабеля от места установки звукового генератора, при помощи испытательной рамки (антенны), усилителя и телефонных наушников может определить характер распространения этого поля и, следовательно, трассу кабельной линии, места расположения муфт, глубину заложения кабеля и места повреждений. Звук в наушниках будет слышен на участке трассы кабельной линии. В стороне от трассы или за местом повреждения слышимость в телефоне резко снижается.

Индукционный метод обеспечивает высокую точность определения места повреждения. Погрешность составляет не более 0,5 м. Применяют этот метод в случаях, когда переходное сопротивление в месте повреждения составляет не более 20...50 Ом.

§ 6. Прожигание кабелей

Иногда при повреждении кабельных линий сопротивление изоляции кабелей остается еще значительным и многие методы отыскания мест повреждений оказывается невозможно применить. В этих случаях для создания благоприятных условий отыскания повреждений снижают переходное сопротивление в месте повреждения до 10...100 Ом путем прожигания изоляции в поврежденном месте от специальных установок.

Коэффициент полезного действия прожигающей установки значительно повышается, когда внутреннее сопротивление установки примерно соответствует переходному сопротивлению в месте повреждения. В процессе прожигания переходное сопротивление в месте повреждения изменяется в широких пределах (от десятков тысяч до нескольких омов). Практически невозможно получить установку с большим испытательным напряжением и малым и переменным внутренним сопротивлением. Поэтому прожигание кабеля во многих случаях ведется комбинированными установками.

В начальной стадии прожигания применяют выпрямительные установки, позволяющие получать высокое напряжение (до 15 кВ при малых токах (до 5 А). На заключительной стадии дожига используют специальные трансформаторы с низким рабочим напряжением и более высоким выходным током.

В последние годы нашел широкое применение резонансный метод прожигания, обеспечивающий высокую эффективность прожигания на переменном токе при возможности получения высоких испытательных напряжений на довольно простой, легкой и портативной аппаратуре.

При этом методе используют специальные трансформаторы с переключателем витков вторичной обмотки. Вторичную обмотку включают на кабель, подлежащий прожиганию. Емкость подключенного кабеля совместно с индуктивностью высоковольтной вторичной обмотки трансформатора образует резонансный контур частоте сети 50 Гц. Колебания в этом контуре возбуждаются благодаря магнитной связи с первичной обмоткой трансформатора получающей питание от сети 127 и 380 В. Изменением переключателя настройки контура (число витков) регулируют напряжение на кабеле. В резонансном контуре может развиваться реактивная мощность до нескольких сотен киловольт-ампер, в то время как в сети питания потребляется небольшая мощность порядка нескольких киловатт, идущая на покрытие активных потерь.

Пробой изоляции может происходить на обеих полярностях напряжения и частота пробоя может достигать до 100 раз в секунду. Поэтому при резонансном методе процесс выгорания происходит более интенсивно и быстрее, чем при использовании других методов.

§ 7. Ремонт кабельных линий

Подготовка к ремонту. Ремонт кабельной линии необходимо проводить в максимально короткий срок, так как отключение линии связано со снижением надежности электроснабжения, увеличением потерь электроэнергии, а в случае одностороннего питания сопровождается полным прекращением подачи электроэнергии.

Быстрое и точное определение места повреждения — одно из решающих условий ускорения ремонта линии. Для этого необходимо механизировать трудоемкие работы по вскрытию асфальта, раз-

рушению бетонных оснований, рыхлению твердого и мерзлого грунта, рытью и засыпке траншей. Необходимо применять отбойные молотки, пневматический бетонолом, электромолотки. Для рытья траншей, там, где возможно, следует применять экскаватор, который может быть использован как бульдозер при засыпке траншей после ремонта кабельной линии.

Для разогрева мерзлого грунта при проведении работ в зимних условиях применяют электрические рефлекторные печи, электрические электроды и газовые горелки.

Земляные работы по вскрытию траншей и ремонт поврежденной кабельной линии выполняют с соблюдением мер защиты действующих кабельных линий от механических повреждений. Если в месте повреждения кабеля проложено несколько кабельных линий и явного повреждения не видно, то во избежание ошибок необходимо отрыть все кабельные линии, проложенные в месте повреждения. Сверив по плану трассу кабельной линии и убедившись при помощи индукционного метода в отсутствии напряжения на данном кабеле, можно начать его ремонт. Объем ремонта кабельной линии определяется характером повреждения и состоянием кабеля.

Ремонт свинцовой или алюминиевой оболочки кабеля. Нарушение герметизации обычно происходит в результате механических повреждений при проведении земляных работ. Местное восстановление герметизации кабеля выполняют в случае, если есть полная уверенность в том, что изоляция кабеля не повреждена и влага в кабель не проникла. Этот ремонт выполняют в такой последовательности:

1) удаляют часть оболочки по обе стороны от места повреждения;

2) осматривают и проверяют верхнюю ленту поясной изоляции на отсутствие влаги;

3) выполняют разбортовку торцов заводской оболочки;

4) восстанавливают герметизацию кабеля. Для этого на оголенный участок накладывают разрезанную вдоль свинцовую трубу и после обивки пропанивают продольный шов и шейки, а также залочные отверстия после заполнения трубы кабельной массой;

5) соединяют оболочку с броней кабеля и заключают кабель в защитный чугунный кожух при прокладке его в земле или в специальную стальную трубу при открытой прокладке.

Если влага проникла в изоляцию, поврежденный участок кабеля вырезают и вместо него монтируют вставку из кабеля аналогичной марки. Минимальная длина вставки по условиям удобства монтажа составляет 3 м. В местах соединения вставки с кабелем монтируют две соединительные муфты. По обеим сторонам муфты при прокладке в земле создается запас кабеля в виде волнообразного изгиба (змейки).

Ремонт изоляции кабеля. В случае электрического пробоя изоляции при отсутствии повреждения токопроводящей жилы ремонт изоляции может быть выполнен без разрезания жил кабеля, путем

монтажа так называемой бесклеммной муфты. При этом необходимо убедиться в полном отсутствии влаги в изоляции и наличии достаточной слабны в кабеле, позволяющей развести жилы и выполнить подмотку дефектной изоляции. Для герметизации кабель закладывают в свинцовую трубу, заливают кабельной массой и т. д. в том же порядке, что и при ремонте свинцовых и алюминиевых оболочек.

При проведении капитальных ремонтов кабельных линий концевые муфты старых конструкций можно заменять муфтами новых конструкций с герметическими заделками. В заделках, выполненных из эпоксидного компаунда, может нарушиться герметичность и вытекать пропиточный состав в нижней или верхней части заделок. При вытекании пропиточного состава вниз, у корешка заделки, участок, примыкающий к муфте, на 40...50 мм в обе стороны обезжиривают. После этого низ заделки и прилегающую к нему свинцовую или алюминиевую оболочку на расстоянии 15..20 мм обматывают двумя слоями хлопчатобумажной ленты, смазанной эпоксидным компаундом. Затем на кабель устанавливают ремонтную форму, заполняют ее эпоксидным компаундом.

Если пропиточная масса вытекает сверху в месте выхода жил из заделки, плоскую часть заделки и участки жил на расстоянии 30 мм зачищают ножом или стеклянной бумагой и обезжиривают (тряпкой, смоченной в бензине или ацетоне). Затем устанавливают ремонтную форму и заливают ее эпоксидным компаундом.

§ 8. Техника безопасности при эксплуатации кабельных линий

К работам на кабельных линиях допускаются электромонтеры, имеющие II или III квалификационную группу. Они приступают к работе по устному или телефонному распоряжению с записью в журнале.

Для выполнения работ на трассе кабельной линии необходимо:

- а) отключить кабель, в том числе и нулевую жилу (провод), от электроустановки с обеих сторон;
- б) убедиться в отсутствии напряжения на всех жилах и вывесить плакаты «Не включать, работают люди» на обоих концах кабеля;
- в) на отключенные рубильники положить изолирующие прокладки, снять предохранители, а шкафы с рубильниками, автоматами и предохранителями запереть на замок.

Если кабель является единственной линией, питающей потребитель (двигатель и т. п.), то все эти операции можно выполнять лишь на конце со стороны источника питания. Заземлять кабель не обязательно.

Прежде чем приступить к ремонту кабеля, необходимо удостовериться в том, что это именно нужный кабель. Если кабель проложен открыто, то участок, подлежащий ремонту, определяют пу-

тем визуального прослеживания, если кабель проложен в земле, то сверяют с чертежами прокладки. Если нет полной уверенности в правильности определения подлежащего ремонту кабеля, то применяют специальные индукционные аппараты (кабелеискатели).

Открытые муфты укрепляют на прочной доске, подвешенной при помощи проволоки или троса к перекинутым через траншею брусам. Перед разрезанием кабелей, проложенных в земле, убеждаются в отсутствии напряжения путем прокола с одновременным заземлением жил. Металлическую часть приспособления для прокалывания заземляют. Прокол нужно делать в диэлектрических перчатках, предохранительных очках, стоя на изолирующем основании.

Разрезая кабель, ножовку держат за деревянную рукоятку, не касаясь металлических частей. Ножовка должна быть заземлена. Если перед резкой прокола не было, то всю работу выполняют в диэлектрических перчатках, предохранительных очках, стоя на сухой доске.

При вскрытии муфт также принимают меры предосторожности. После вскрытия муфты еще раз убеждаются в отсутствии напряжения (специальным индикатором или вольтметром), срезают изоляцию заземленным ножом, а затем накоротко соединяют жилы между собой. Дальнейшую работу выполняют без применения перчаток, очков и ковриков.

На осмотре колодцев, коллекторов и других кабельных сооружений должны работать не менее двух лиц. Перед началом работы им необходимо убедиться в отсутствии горячих и вредных для дыхания газов в этих сооружениях. Категорически запрещается проверять отсутствие газов при помощи открытого огня (забрасыванием горящих спичек, пакли и т. п.). Это может вызвать пожар. Для проверки применяют специальный газоанализатор или рудничную лампу.

Убедившись в отсутствии горючих газов, на дно колодца опускают зажженную свечу. Если свеча гаснет, то это свидетельствует о том, что в колодце есть углекислый газ CO_2 . При обнаружении газа в колодец нагнетают чистый воздух при помощи установленного снаружи ручного или электрического вентилятора, конец рукава которого должен быть на расстоянии 25 см от дна.

Переключать, сдвигать, перемещать кабели можно после их отключения и заземления. Кабели, находящиеся под напряжением, допускается перемещать на расстояние до 5...7 м при следующих условиях:

а) работа выполняется по наряду квалифицированными рабочими;

б) температура кабеля не ниже $+5^\circ\text{C}$ (278 K);

в) кабели около муфт для исключения изгиба закреплены на досках;

г) поверх диэлектрических перчаток для защиты их от механических повреждений надевают брезентовые рукавицы.

При измерении сопротивления изоляции мегомметром, если противоположный конец кабеля находится в помещении, где проводятся другие работы, на время испытания там ставят наблюдающего, который не подпускает к кабелю людей.

После отключения испытательного напряжения кабель долго сохраняет электрический заряд, опасный для жизни человека. Поэтому прикасаться к кабелю запрещается до тех пор, пока он не будет разряжен. Для разрядки каждую жилу кабеля соединяют с его оболочкой (заземляющим устройством).

Глава IV

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 1. Общие положения

Трансформаторы поступают с завода полностью собранными и заполненными маслом. До монтажа их хранят в помещении или под навесом. При длительном хранении трансформатор периодически осматривают, контролируют уровень и качество масла, состояние силикагеля (при необходимости заменяют силикагель и цеолит). При появлении течи масла из-под маслоуплотнительных соединений подтягивают гайки.

Все установленные трансформаторы должны соответствовать требованиям ПУЭ, ПТЭ и ПТБ.

Для обслуживания трансформаторов должны быть обеспечены удобные и безопасные условия для наблюдения за уровнем и температурой масла, газовым реле, а также для отбора масла. В каждом трансформаторе на основе заводских данных определяют максимально допустимую температуру верхних слоев масла. В трансформаторах без принудительной циркуляции масла эта температура должна быть не больше $+95^{\circ}\text{C}$ (368 К). Превышение температуры масла над температурой окружающего воздуха должно быть не более 60° .

Персонал, обслуживающий трансформаторы, оборудованные переключателем коэффициента трансформации ПБВ (переключатель без возбуждения), не менее двух раз в год перед наступлением зимнего максимума и летнего минимума нагрузки проверяет, правильно ли установлен коэффициент трансформации.

В сеть трансформатор включают, как правило, только на полное напряжение. При отключении трансформатора от защиты с прекращением энергоснабжения потребителей допускается одно его повторное включение при условии, что трансформатор имеет дифференциальную и газовую защиты и отключение произошло от одной из этих защит без видимых признаков повреждения, в то время как другая защита не действовала.

При появлении сигнала работы газового реле трансформатор нужно обязательно осмотреть и определить по цвету и степени горючести газа характер повреждения. Если в газовом реле есть го-

рючий газ желтого или сине-черного цвета, трансформатор нужно немедленно отключить.

Для снижения потерь в зависимости от графика нагрузки в сеть нужно включать оптимальное число параллельно работающих трансформаторов.

Ток в нейтрали трансформаторов при соединении обмоток по схеме «звезда — звезда» с нулевым проводом на стороне низшего напряжения не должен превышать 25% номинального тока фазы. При этом чем выше кратность (отношение) сопротивлений нулевой последовательности и короткого замыкания, тем относительно меньше должна быть сила тока в нулевом проводе. В частности, для трансформаторов с алюминиевыми обмотками желательно иметь силу тока в нулевом проводе порядка 10...15% номинального тока фазы.

Осмотр трансформаторов без отключения нужно проводить в следующие сроки:

а) в установках с постоянным дежурством персонала — один раз в сутки;

б) в установках без постоянного дежурства персонала — не реже одного раза в месяц, а на трансформаторных пунктах — не реже одного раза в 6 месяцев.

В зависимости от местных условий, конструкции и состояния трансформатора эти сроки осмотров могут быть изменены лицом, ответственным за электрохозяйство предприятия.

Внеочередные осмотры трансформаторов проводят при резком изменении температуры наружного воздуха, стихийных явлениях (гололед и т. п.) и при каждом отключении от действия защиты.

При этом проверяют следующее: показания термометров и мановакуумметров, состояние кожуха трансформатора и отсутствие течи масла, соответствие уровня масла в расширителе температурной отметке и наличие масла в маслонаполненных вводах, отсутствие нагрева контактных соединений, исправность сигнализации и пробивных предохранителей, состояние маслоохладяющих и маслосборочных устройств, изоляторов, ошиновки и кабелей, сети заземления, устройств непрерывной регенерации масла и трансформаторного помещения.

Текущие ремонты трансформаторов с их отключением проводят в следующие сроки:

а) трансформаторов центральных распределительных подстанций — по местным инструкциям, но не реже одного раза в год;

б) всех остальных трансформаторов — по мере необходимости, но не реже одного раза в 3 года.

Выводить трансформаторы из работы необходимо при следующих условиях:

а) сильно неравномерном шуме и потрескивании внутри трансформатора;

б) ненормальном и постоянно нарастающем нагреве трансформатора при нормальной нагрузке и охлаждении;

в) выбросе масла из расширителя или разрыве диафрагм выходной трубы;

г) течи масла с понижением уровня его ниже уровня масломерного стекла;

д) необходимости немедленной замены масла по результатам лабораторных анализов.

В объем текущего ремонта входят такие работы: наружный осмотр и устранение повреждений; чистка изоляторов и кожуха; спуск грязи из расширителя, доливка масла и проверка маслоуказателя; проверка термосифонных фильтров и при необходимости замена сорбента; проверка защит; отбор и проверка проб масла; проведение необходимых профилактических испытаний и измерений.

§ 2. Подготовка трансформаторов к включению. Основные неисправности трансформаторов

Трансформаторы старых серий перед включением в эксплуатацию по требованию заводов-изготовителей подвергались ревизии с подъемом активной части. В настоящее время, согласно ПТЭ, вновь устанавливаемые трансформаторы при отсутствии соответствующего указания завода-изготовителя могут не подвергаться внутреннему осмотру со вскрытием.

Объем работ по подготовке трансформатора к включению определяется конкретными условиями: его мощностью и исполнением, в том числе герметичностью, датой выпуска или ремонта, условиями транспортировки, длительностью и условиями хранения перед монтажом и т. д.

Некоторые энергопредприятия продолжают проводить ревизию каждого вновь устанавливаемого трансформатора, чтобы выявить возможные дефекты, появившиеся по вине заводов-изготовителей или ремонтного предприятия, и повреждения из-за неправильных транспортировки, хранения и монтажа.

Перед включением трансформатора необходимо сделать следующее:

- а) осмотреть его;
- б) протереть изоляторы бензином и сухой ветошью;
- в) залить в корпус оправы термометра трансформаторное масло, затем установить термометр;
- г) заземлить бак трансформатора;
- д) сделать физико-химический анализ масла и испытать его электрическую прочность;
- е) измерить сопротивление постоянному току обмоток на всех ответвлениях. Сопротивления не должны отличаться более чем на 2%, если нет особых указаний в паспорте трансформатора;
- ж) определить сопротивление изоляции между обмоткой НН и баком, обмоткой ВН и баком, обмотками ВН и НН;

з) убедиться, что переключатель установлен и зафиксирован в одном из рабочих положений;

и) снять прозрачный колпачок и фланец с воздухоосушителя и удалить имеющиеся в нем силикагель и цеолит;

к) засыпать в воздухоочиститель сначала силикагель индикаторный, затем цеолит, поставляемый комплектно в герметичной упаковке. В случае увлажнения или повреждения герметичности упаковки силикагель и цеолит нужно просушить (при увлажнении индикаторный силикагель меняет свою окраску с голубой на розовую);

л) установить катки трансформаторов из транспортного положения в рабочее;

м) проверить наружным осмотром состояние маслоуплотнительных соединений и при обнаружении ослабления крепления или течи масла подтянуть гайки;

н) установить уровень масла в расширителе против отметки на маслоуказателе, соответствующей температуре окружающей среды (для этого масло слить или долить).

Вопрос о допустимости включения трансформаторов без сушки решается по результатам испытаний и с учетом условий, в которых находился трансформатор до и во время монтажа.

Проверку состояния трансформаторов I группы напряжением до 35 кВ включительно и мощностью до 1000 кВ·А, транспортируемых с маслом и расширителем, до и во время монтажа проводят в следующем порядке и объеме:

а) осматривают трансформатор и проверяют пломбы на кранах и пробке для отбора проб масла;

б) берут пробу масла из трансформатора и проводят сокращенный анализ;

в) измеряют сопротивление изоляции R_{60} , определяют отношение R_{60}/R_{15} .

Условия включения трансформаторов без сушки следующие:

а) уровень масла должен быть в пределах отметок маслоуказателя;

б) характеристики масла должны соответствовать действующим нормам;

в) значение отношения R_{60}/R_{15} обмоток при температуре 10...30°С (283...303 К) должно быть не менее 1,3;

г) если первое условие не соблюдено, но обмотки трансформатора и переключателя покрыты маслом или если не выполнено второе условие, но в масле отсутствуют следы воды и пробивное напряжение масла снизилось по сравнению с нормированным не более чем на 5 кВ, необходимо дополнительно измерять значения $\text{tg}\delta$ и C_2/C_{50} . Значения последних должны быть не ниже нормированных (табл. 18 и 19).

Трансформаторы могут быть включены без сушки при соблюдении одной из следующих комбинаций условий включения: а, б, в; б, в, г; а, в, г; а, б, г.

Для трансформаторов мощностью до 100 кВ·А включительно достаточно испытать масло только на пробивное напряжение при отсутствии в масле следов воды. Измерить сопротивление R_{60} и записать в протокол испытаний. Для включения этих трансформаторов в работу без сушки должна быть соблюдена одна из следующих комбинаций условий: а, б; б, г; а, г.

Таблица 15

Мощность трансформатора на напряжение до 35 кВ, кВ·А	Наибольшие допустимые значения $tg \delta$ (%) силовых масляных трансформаторов при температуре обмоток, °С (К)						
	10 (283)	20 (293)	30 (303)	40 (313)	50 (323)	60 (333)	70 (343)
До 6300 включительно 10000 и более	1,2 0,8	1,5 1	2 1,3	2,6 1,7	3,4 2,3	4,5 3	6 4

Таблица 16

Мощность трансформатора на напряжение до 35 кВ, кВ·А	Максимально допустимые значения отношения C_2/C_{20} обмоток масляных трансформаторов при температуре обмоток, °С (К)		
	10(283)	20(293)	30(303)
До 6300 включительно 10000 и более	1,1 1,05	1,2 1,15	1,3 1,25

После капитального ремонта со сменой обмоток дополнительно определяют ток холостого хода, проверяют группу соединения обмоток, коэффициент трансформации и при необходимости выполняют фазировку трансформатора.

Одновременно с трансформатором осматривают цепи первичных и вторичных соединений, измеряют сопротивление их изоляции и испытывают их повышенным напряжением, проверяют измерительные приборы и испытывают релейную защиту, проверяют работу выключателей и разъединителей. Трансформатор толчком включают на номинальное напряжение и осматривают его, проверяя плотность швов, прокладок, фланцевых соединений и т. п.

При включении трансформаторов чаще всего встречаются следующие основные неисправности: короткие замыкания на вводах как со стороны ВН, так и со стороны НН, на щитке в распределительном шкафу или внутри трансформатора; обрывы в цепи ВН и НН внутри или вне трансформатора; ослабление прессовки листов активной стали сердечника.

По данным, собранным по нескольким сетевым районам по трансформаторам I и II габаритов, причины дефектов и повреждений можно распределить следующим образом: заводские дефек-

ты — 50%, низкокачественный ремонт или монтаж — 10%, неправильная эксплуатация — 13%, грозовые перенапряжения — 5,5%, старение изоляции — 3,5% и прочие — 18%.

§ 3. Особенности эксплуатации трансформаторов сельских подстанций

Одна из основных особенностей эксплуатации трансформаторов сельских потребительских подстанций — асимметрия фазных токов, неслучайная, возникающая из-за неравномерного распределения однофазных токоприемников, которую можно относительно легко устранить, и случайная (вероятная), вызванная случайными включениями однофазных потребителей, устранить которую практически невозможно. Анализ статистических данных показывает, что с увеличением мощности трансформатора несимметрия токов по фазам уменьшается. Однако и относительный рост однофазной осветительной нагрузки, и появление однофазной силовой нагрузки (сварочные трансформаторы, электроводоподогреватели, электрифицированный инструмент, бытовые приборы и т. д.) оставляют неравномерность нагрузки по фазам очень высокой.

Согласно правилам технической эксплуатации, степень неравномерности нагрузки по фазам k_n отходящих от подстанций линий не должна превышать 20%:

$$k_n = \frac{100(I_{\max} - I_{\text{ср}})}{I_{\text{ср}}} < 20\%,$$

где I_{\max} — ток в максимально нагруженной фазе в момент наибольшей нагрузки трансформатора; $I_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое значение тока трех фаз в тот же момент времени.

Исследования показывают, что среднее значение асимметрии токов лежит в пределах от 32 до 50%. Асимметрия токов приводит к искажению напряжений по фазам, это отрицательно сказывается на работе всех токоприемников и линий: резко сокращается срок службы источников света, подключенных к фазе с увеличенным напряжением, и уменьшается светоотдача тех, которые подключены к фазе с пониженным напряжением; увеличиваются ток намагничивания и потери в стали и обмотках и резко снижается $\cos \phi$ однофазных силовых токоприемников (например, сварочных трансформаторов), подключенных к повышенному против нормы напряжению; увеличиваются потери в линиях и трансформаторе, могут появиться местные нагревы его. При относительно небольшой мощности трансформаторов асимметрия токов вызывает изменение и линейных напряжений, что приводит к возрастанию потерь в трехфазных электродвигателях, уменьшению их к. п. д. и развиваемых ими моментов. Особенно резко проявляется отрицательное действие асимметрии токов в наиболее распространенных в сельском

хозяйстве трансформаторах, имеющих 0 (12) группу соединений обмоток («звезда — звезда с нулем»).

Характерно, что трансформаторы новых серий с алюминиевыми обмотками и сердечниками из холоднокатаной стали имеют увеличенное в среднем в 1,5 раза сопротивление нулевой последовательности по сравнению с аналогичными сопротивлениями трансформаторов старых серий с медными обмотками и сердечниками из горячекатаной стали, в них пропорционально возрастает и искажение напряжений по фазам при одной и той же асимметрии токов. Таким образом, асимметрия токов тем более должна быть ограничена для трансформаторов последних серий. Поэтому электропромышленность в ограниченном количестве выпускает трансформаторы I и II габаритов специально для сельского хозяйства с группами соединения обмоток «звезда — зигзаг с нулем» и «треугольник — звезда с нулем», позволяющими обеспечить высокое качество напряжения при асимметрии токов по фазам.

Например, для трансформатора мощностью 100 кВ·А старой серии сопротивление нулевой последовательности примерно в 10 раз больше сопротивления короткого замыкания, для такого же трансформатора новой серии оно больше в 17 раз, а для трансформаторов с соединением обмоток «треугольник» и «зигзаг» оно равно сопротивлению короткого замыкания.

Вторая особенность эксплуатации трансформаторов сельских подстанций — резко переменный суточный график нагрузки, наличие в нем утреннего и вечернего максимумов, некоторый провал нагрузки в дневное время и практически отсутствие нагрузки в ночное время. Поэтому по сравнению с трансформаторами городских сетей, имеющих нормальную нагрузку, среднесуточная нагрузка сельских трансформаторов составляет 0,2...0,4 номинальной, причем эта нагрузка сохраняется в течение длительного времени и тенденции к ее повышению пока не наблюдается.

С учетом использования трансформаторов по мощности правила технической эксплуатации допускают 40%-ную их перегрузку сверх номинальной на период максимумов общей суточной продолжительностью не более 6 ч в течение не более 5 суток; при этом коэффициент предварительной загрузки трансформатора должен быть не более 0,93. В аварийных случаях допускается кратковременная перегрузка трансформаторов сверх номинальной независимо от предшествующего режима и температуры охлаждающей среды (табл. 20).

Статистика показывает, что большая часть трансформаторов выходит из строя не зимой в период максимальной нагрузки, а летом — при минимальной. Происходит это потому, что на нагрев трансформатора влияют не только его нагрузка и значение подведенного напряжения, но и температура окружающей среды, причем влияние последней оказывается очень значительным.

Для подтверждения сказанного в таблице 21 в качестве примера показана зависимость температуры нагрева трансформатора от

Таблица 20

Допустимые кратковременные перегрузки трансформаторов в долях номинальной нагрузки по току	Допустимая длительность перегрузки трансформаторов, мин		Допустимые кратковременные перегрузки трансформаторов в долях номинальной нагрузки по току	Допустимая длительность перегрузки трансформаторов, мин	
	маслонаполненных	сухих		маслонаполненных	сухих
1,2	—	60	1,6	65	5
1,3	120	45	1,75	20	—
1,4	90	32	2,0	10	—
1,5	70	18			

изменения температуры окружающей среды и увеличения нагрузки трансформатора, установленного в одном из сел Челябинской области.

Таблица 21

Период измерений	Доля нагрузки трансформатора от номинальной	Среднемесячные значения		
		температуры, °С (К)		перепада температур, град
		воздуха	трансформаторного масла	
Август	0,48	21,5(294,5)	54(327)	32,5
Сентябрь	0,66	17,5(290,5)	46(319)	28,5
Октябрь	0,84	3,5(276,5)	34(307)	30,5
Ноябрь	0,96	—8(265)	33(306)	41,0

Анализ приведенной таблицы показывает, что двойное увеличение нагрузки трансформатора при переходе к зиме не увеличило нагрев трансформатора, наоборот, за счет падения температуры окружающего воздуха нагрев трансформатора даже уменьшился. Естественно, что перепад температур между температурой трансформатора и средой возрастает, но незначительно.

Заслуживает внимания нагрев трансформаторов при неравномерной нагрузке фаз в разных группах соединения обмоток.

Исследования, проведенные авторами, показали, что, несмотря на появление значительных потоков нулевой последовательности при однофазном режиме работы трансформатора с соединением обмоток «звезда — звезда с нулем», максимально допустимый нагрев трансформатора наблюдается при токе, равном 1,5 номинального, который в 6 раз превышает допустимое значение тока по сравнению с ГОСТ. Последнее объясняется выравниванием теплового поля внутри трансформатора. Перепад температур нагрева трансформатора при симметричной нагрузке неодинаков, и разница его возрастает с увеличением нагрузки: при нагрузке трансформатора до

0,2 номинальной разницы в перепаде составляет всего 5...10°, а при увеличении нагрузки вдвое достигает 40°.

Нагрев трансформатора с соединением обмоток «звезда — зигзаг с нулем» в однофазном режиме оказался почти одинаковым по сравнению с нагревом трансформатора с соединением обмоток «звезда — звезда с нулем». Объясняется это тем, что при таком соединении обмоток уменьшаются потери в стали за счет уменьшения потоков нулевой последовательности, но увеличиваются потери в обмотках за счет роста их сопротивления из-за увеличенного на 17% числа витков вторичной обмотки. Нагрев трансформатора с соединением обмоток «треугольник — звезда с нулем» меньше нагрева трансформатора с другим соединением обмоток.

В общем случае разница в температурах нагрева трансформатора при несимметричной и равномерной нагрузке по фазам зависит от числа нагруженных фаз, степени асимметрии, значения нагрузки и группы соединения обмоток. Исходя из этих рассуждений и следует определять степень допустимости перегрузки трансформаторов при их эксплуатации.

§ 4. Тепло- и влагообмен в трансформаторах

Диэлектрические свойства масловолокнистой изоляции трансформаторов зависят в основном от влажности, температуры и влияния электрического поля. Электрическое поле в определенных условиях может вызывать самоосушение изоляции, что впервые было обнаружено В. В. Пучковским.

Между изоляцией трансформатора и средой всегда существует тепловлагообмен. При увеличении нагрузки и нагрева даже при значительной влажности окружающего воздуха влага переходит из трансформатора в окружающую среду и трансформатор осушается, при снижении нагрузки происходит обратный процесс и трансформатор увлажняется. Влага из окружающей среды через масло адсорбируется твердой изоляцией трансформатора. Но увлажнение и осушение трансформатора ведут к изменению его диэлектрических характеристик, в частности таких, как сопротивление изоляции, угол потерь и др.

Сопротивление изоляции трансформаторов не нормируется, его значение указывает завод-изготовитель в паспорте трансформатора. В эксплуатации допускается снижение сопротивления не более чем на 30%, при дальнейшем его снижении требуется выключать трансформатор из работы и сушить его. В процессе эксплуатации допускается повышение $\text{tg}\delta$ трансформатора в 1,5 раза, при дальнейшем его увеличении трансформатор необходимо сушить.

Исследования, проведенные на реальных трансформаторах в режимах, полностью имитирующих график нагрузки в сельских сетях, показали, что изменения диэлектрических характеристик работающих трансформаторов значительно превышают нормы (табл. 22) и зависят от температуры окружающей среды.

Интересно отметить, что интервалы и кратности изменения характеристик значительны при всех температурах. Большие значения кратностей установлены по трансформатору с лучшими первоначальными характеристиками, а меньшие — по более увлажненному.

Сопоставлять между собой измеряемые диэлектрические характеристики трансформаторов необходимо при строгом соблюдении температуры нагрева трансформатора. Желательно делать эти измерения в периоды наименьшей влажности окружающей среды.

Таблица 22

Температура окружающей среды, °С(К)	Изменение диэлектрических характеристик трансформаторов в реальных режимах их работы					
	Интервалы изменения			Кратности изменения		
	$\text{tg } \delta, \%$	$R_{60}, \text{ МОм}$	C_2/C_{20}	$\text{tg } \delta,$	$R_{60},$	C_2/C_{20}
Трансформатор № 2299						
10(283)	0,1...1,0	1930...5400	1,0...1,13	2,5	2,8	1,13
20(293)	0,5...1,8	900...4300	1,08...1,35	3,5	4,78	1,26
30(303)	1,3...2,6	700...1480	1,2...1,5	2	2,12	1,26
40(313)	1,9...3,8	500...880	1,5...1,95	2	1,76	1,3
Трансформатор № 2343						
10(283)	1,3...2,0	1020...2100	1,04...1,2	1,54	2,04	1,15
20(293)	1,1...3,1	310...1050	1,1...1,36	2,86	3,4	1,23
30(303)	2,4...5,2	250...520	1,24...1,44	2,16	2,1	1,16
40(313)	4,8...8,3	92...180	1,34...1,73	1,73	1,73	1,29

Чтобы охарактеризовать трансформатор, недостаточно знать характеристики R_{60} и $\text{tg} \delta$. Для этого проводят физико-химические и электрические испытания масла; определяют серию характеристик трансформатора, отключенного от сети: R_{60} , R_{60}/R_{15} , $\text{tg} \delta$, C_2/C_{20} , C_{70}/C_{20} , $\Delta C/C$ и др. При необходимости трансформатор вскрывают, берут и исследуют образцы главной и витковой изоляции (при этом разрушается изоляция трансформатора).

Состарившаяся запекающаяся изоляция может иметь высокое электрическое сопротивление и механическую прочность, и трансформатор по этим данным может быть включенным в сеть. Но его изоляция мгновенно разрушится от динамических усилий, возникших при первом сквозном коротком замыкании, трансформатор выйдет из строя и потребует капитального ремонта. В другом же случае трансформатор не может быть включен в работу, хотя и имеет свежую изоляцию, но по неизвестной причине сопротивление изоляции низкое (действие увлажнения, наличие местного дефекта, плохое состояние масла и т. п.).

Не случайно поэтому аварийность трансформаторов после ревизии значительна и составляет в среднем 7,6 на 100 единиц трансформаторов в год. Периодичность и объем испытаний трансформаторов устанавливаются по увлажнению, однако, как было показано выше, увлажнение не может быть основой для прогнозирования состояния трансформатора. Внутри объема трансформатора всегда происходит массообмен, о тепловлагообмене мы уже говорили выше. Продукты окисления масла проникают в твердую изоляцию, а после замены окислившегося масла свежим эти продукты окисления, сохранившиеся в твердой изоляции, будут возвращаться в масло. Продукты старения твердой изоляции также проникают в масло.

Л. М. Рыбаков проанализировал корреляционные зависимости, определил наиболее значимые факторы и провел многофакторную обработку характеристик трансформаторов. Проанализированы следующие факторы для твердой изоляции: степень полимеризации и механическая прочность, содержание влаги, электрическая прочность, $\text{tg}\delta$, удельное объемное сопротивление и срок эксплуатации; для масла проанализированы: содержание водорастворимых кислот, кислотное число, содержание влаги, вязкость, удельное объемное сопротивление, $\text{tg}\delta$ при 20°C (293 К) и 70°C (343 К), срок эксплуатации.

Анализ показал высокую корреляционную связь между $\text{tg}\delta$ масла и степенью старения твердой изоляции, между $\text{tg}\delta$ масла и содержанием водорастворимых кислот, между $\text{tg}\delta$ масла и влагой в масле.

Таким образом, на значение $\text{tg}\delta$ оказывают влияние влага, количество водорастворимых кислот и количество продуктов старения твердой изоляции.

Начальное значение $\text{tg}\delta_0$ свежезалитого в трансформатор масла весьма мало, в процессе эксплуатации под влиянием названных трех факторов $\text{tg}\delta$ растет до значения $\text{tg}\delta_1$. Имея соотношение $\text{tg}\delta_1/\text{tg}\delta_0 = k$, можно судить о состоянии изоляционной системы трансформатора.

Эксперименты по старению изоляционной системы бумага—масло с применением современных методов исследования показали, что по мере деструкции бумаги на основе целлюлозы в масло диссоциируют продукты окисления, которые влияют на рост $\text{tg}\delta$; таким образом, $\text{tg}\delta$ масла — достаточно хороший показатель старения не только масла, но и твердой изоляции на основе целлюлозы.

Исследованиями Л. М. Рыбакова также доказано, что наиболее точно состояние масла отражает количественное содержание в нем водорастворимых кислот, которое можно использовать в качестве единственного отбраковочного показателя кислотности масла, исключив из объема сокращенного химического анализа масла определение кислотного числа. На рисунке 56 показаны изменения степени полимеризации образцов твердой изоляции и $\text{tg}\delta$ масла в зависимости от длительности старения.

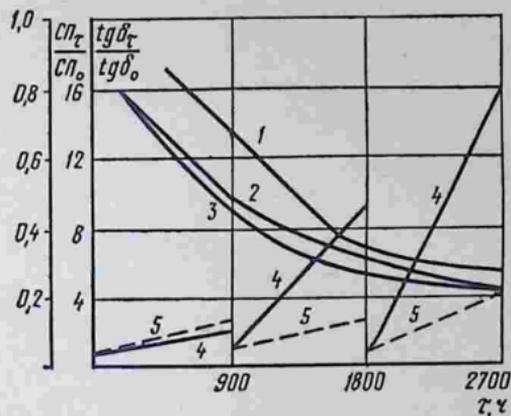


Рис. 56. Изменение степени поляризации твердой изоляции и k_{δ} масла в зависимости от длительности старения:

1, 2, 3 — степень поляризации образцов соответственно электрокартона, кабельной бумаги и витковой изоляции; 4 — k_{δ} трансформаторного масла; 5 — k_{δ} масла, ставшего без твердой изоляции трансформатора.

Доказано, что значение k_{δ} и количество водорастворимых кислот в масле могут служить критериями состояния трансформатора. Установлено, что при $k_{\delta} = 12 \dots 14$ можно говорить об увлажнении трансформатора, при $k_{\delta} = 16 \dots 18$ — об окислении масла и при $k_{\delta} = 22 \dots 26$ — о старении изоляционной системы трансформатора и необходимости вывода его в ремонт, при хорошей изоляционной системе $k_{\delta} = 3 \dots 4$.

Опробованный на большом числе трансформаторов I и II габаритов, этот метод прогнозирования состояния трансформаторов уже нашел широкое применение в Горьковской энергосистеме и безусловно является очень перспективным.

§ 5. Эксплуатация трансформаторного масла

Характеристики трансформаторного масла в значительной степени зависят от примесей. Так, содержание всего 0,01...0,02% влаги в масле приводит к снижению пробивного напряжения в 4...5 раз. Это объясняется тем, что полярная жидкость — вода ($\epsilon = 80$), находясь в неполярной жидкости — масле ($\epsilon = 2,2$), способна ориентироваться в виде цепочек, вытянутых между электродами в направлении поля. По этим цепочкам и происходит пробой увлажненного масла. Для создания цепочек достаточно небольшого количества влаги, дальнейшее повышение ее содержания в масле поведет только к нарастанию числа параллельных цепей, что не изменит значения пробивного напряжения. В неравномерных полях, в местах с повышенной напряженностью высокая концентрация влаги может привести к образованию крупных капель, оседающих на дно сосуда за пределы межэлектродного пространства. Поэтому влияние влажности менее заметно при пробеке масла в неравномерном электрическом поле.

При эксплуатации трансформатора влага может поступать в масло из окружающей среды и образовываться в масле в результате происходящих в нем окислительных процессов.

Отрицательно влияют на масло некоторые примеси.

Парафин, растворяясь в масле, увеличивает его вязкость. Его присутствие особенно недопустимо в масле выключателей.

Уголь безвреден для масла, но действует как стабилизирующий фактор для эмульсии воды и способствует увеличению количества воды в масле.

Осадки и шлам — продукты старения масла — гигроскопичны и накапливают в себе значительное количество влаги. Являясь полярными диэлектриками, они могут образовывать проводящие мостики между электродами, по которым может происходить пробой масла. К перекрытиям и разрушениям приводят и отложения осадков и шлама на поверхности твердой изоляции, находящейся в масле; кроме того, осадки закупоривают каналы между обмотками трансформатора и ухудшают его охлаждение.

Окисление масла происходит под воздействием кислорода воздуха, повышенной температуры и примесей. Порознь эти факторы воздействуют на масло значительно слабее.

Примеси из масла удаляют сушкой или очисткой, а химический состав восстанавливают регенерацией.

В энергетических системах масло сушат двумя способами: а) просасыванием через него сухого азота или углекислого газа при комнатной температуре; над маслом создают вакуум 20...30 кПа; б) распылением масла при комнатной температуре и остаточном давлении 2,5...5,5 кПа, для ускорения сушки масло подогревают до 40...50°C (313...323 К) при остаточном давлении 8...13 кПа.

В условиях небольших ремонтных предприятий масло сушат путем подогрева или отстоя его при температуре 25...35°C (298...308 К). Отстой — крайне простой, дешевый и безвредный для масла способ сушки. Недостаток его — большая длительность операции.

Сушка масла при помощи подогрева также несложна, причем масло можно подогревать самыми различными методами, в том числе в собственном баке трансформатора. Но длительный нагрев масла может привести к его порче.

В условиях эксплуатации масло не только увлажняется, но и загрязняется. От воды и механических примесей масло очищают центрифугированием и фильтрованием.

Центрифугирование позволяет отделить воду и примеси, которые тяжелее масла. Температура масла должна быть 45...55°C (318...328 К). При пониженной температуре высокая вязкость масла препятствует отделению воды и примесей, а при повышении температуры выше 70°C (343 К) воду трудно отделить из-за начинающегося парообразования и повышенной растворимости воды в масле. Кроме того, при повышенной температуре происходит интенсивное старение масла.

Фильтрование — продавливание масла через пористую среду (картон, бумага, материя, слой отбеливающей земли или силикаге-

ля) осуществляют при помощи фильтр-прессов. Фильтровальная бумага и картон не только задерживают примеси, но и впитывают воду.

Наибольшей гигроскопичностью обладает мягкий и рыхлый картон, однако он плохо задерживает шлам и уголь и сам выделяет много волокон. Чередование в фильтр-прессе листов мягкого и твердого картона позволяет получить хорошо очищенное масло.

Фильтровать масло желательно при температуре 40...50°C (313...323К), так как при большей температуре падает гигроскопичность картона и возрастает растворимость воды в масле. Загрязненный картон можно прополоскать в чистом масле, высушить и вновь пустить в работу. Для очистки 1 т масла требуется около 1 кг картона.

Фильтр-пресс включают обычно после центрифуги для удаления остатков шлама и воды. Он обеспечивает почти предельную очистку масла от воды и наиболее высокую электрическую прочность масла. К достоинствам фильтр-пресса относятся его способность работать при нормальной температуре, отсутствие смешивания масла с воздухом и возможность очистки масла от мельчайших частиц угля. Однако центрифуги способны очистить масло, содержащее эмульсии, тогда как фильтр-пресс для очистки таких масел непригоден.

Центрифуги и фильтр-прессы можно применять для очистки масел, находящихся в баках трансформаторов, в том числе и работающих, но при строгом соблюдении техники безопасности и особых условий. Использование в фильтр-прессах в качестве дополнительной фильтрующей среды силикагеля или отбеливающих глин заметно снижает кислотное число масла.

В результате эксплуатации масло окисляется («стареет»), при этом изменяется его химический состав, образуются кислоты и смолы и одновременно разрушаются те естественные антиокислители, которые содержатся в свежем масле. Вследствие старения масла ускоряется разрушение изоляции трансформаторов. Особенно разрушается изоляция органического происхождения. Однако старение масла затрагивает 3...5% основных углеводородов масла, остальная их часть остается неизменной и хорошего качества. Поэтому масло можно восстанавливать — регенерировать. Регенерация масла позволяет удалять из него продукты окисления и таким образом дать ему вторую жизнь. Периодичность регенераций должна составлять 5...7 лет. Анализ причин повреждаемости трансформаторов показывает, что примерно у 30% вышедших из строя трансформаторов изоляция повреждена вследствие ускоренного старения масла.

Технология регенерации масел может быть различной. Так, на крупных предприятиях масла регенерируют по схеме «кислота — щелочь — промывка — земля» или «щелочь — кислота — промывка — земля». Для несильно окисленных масел применяют сокра-

щенный метод регенерации «кислота — земля» или «щелочь — земля». В условиях эксплуатации наибольшее распространение получила регенерация масел при помощи адсорбентов (особые типы глины или получаемые искусственным путем материалы), которые обладают сильно пористой поверхностью и при соприкосновении с маслом поглощают из него воду и различные полярные примеси. Так, адсорбент — окись алюминия — хорошо удаляет из масла органические и низкомолекулярные кислоты, поэтому применяется чаще всего для непрерывной регенерации масла при помощи термосифонных фильтров. Силикагель хорошо извлекает из масла смолы и в меньшей степени кислоты и применяется для регенерации более окисленных масел. Отбеливающие земли менее активны, чем искусственные адсорбенты, и применяются для доочистки масел после кислотной регенерации.

Масла регенерируют двумя способами: контактным и фильтрованием (перколяцией). При первом способе окисленное масло перемешивают с мелкоизмельченным адсорбентом (обычно природные глины и земли) при температуре 80...90°C (353...363K) в течение 20...30 мин, после чего фильтруют.

Следует иметь в виду, что переочистка масла снижает его стабильность.

Для продления срока службы масла в трансформаторах и, следовательно, срока службы самого трансформатора в эксплуатации принимают следующие меры.

1. Полностью или частично защищают масло от соприкосновения с наружным воздухом. Так, за рубежом, особенно в Скандинавских странах, небольшие хутора снабжают электроэнергией от полностью герметизированных трансформаторов.

Ряд французских фирм производит крупные трансформаторы с азотной защитой масла, у которых воздух из пространства между крышкой бака и маслом выкачан и заменен азотом. На крышке бака укреплен мешок (эластичный мешок), объем которого изменяется в зависимости от температуры нагрева трансформатора. Некоторые из фирм устанавливают на крышку бака трансформатора клапанное устройство, которое при нагреве трансформатора излишек азота, находящегося в пространстве под крышкой, выпускает в атмосферу, а при охлаждении трансформатора герметизирует его.

Трансформаторы отечественного производства снабжены расширителями, установленными на крышке бака, это резко сокращает поверхность соприкосновения масла с окружающей средой. На крупных трансформаторах устанавливают фильтры, поглощающие кислород и влагу из воздуха, поступающего в трансформатор при его работе.

2. Снижают температуру нагрева масла при эксплуатации. Согласно рекомендациям ПТЭ, окрашивают баки трансформаторов в светлые тона, а также обеспечивают соответствующую вентиляцию работающих трансформаторов.

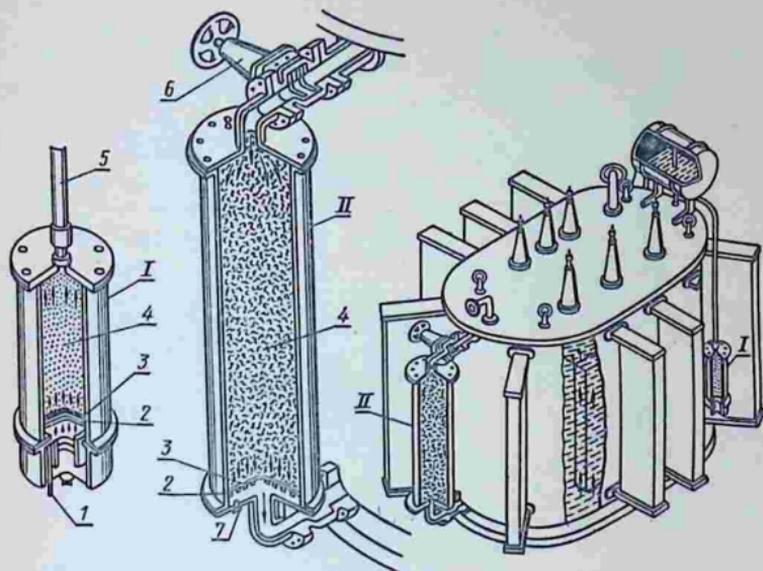


Рис. 57. Вид трансформатора с термосифонным (I) и воздухоочистительным (II) фильтрами:

1 — соединительная трубка; 2 — корпус; 3 — проволочная сетка; 4 — адсорбент; 5 — соединительная трубка; 6 — вентиль; 7 — сливное отверстие.

3. В масло вводят специальные присадки — стабилизаторы или ингибиторы (инол, амидопирин и др.), являющиеся антиокислителями масла и заметно повышающие его стабильность. Присадки не только удлиняют начальный (индуктивный) период окисления масла, но и защищают масло от каталитического действия металлов и предохраняют металлы от коррозии кислыми продуктами старения масла.

Необходимо иметь в виду, что в зависимости от исходного сырья (нефти) составы масел могут быть неодинаковыми. Поэтому перед доливкой масел в аппараты необходимо обязательно провести анализ проб масла, убедиться в их идентичности и выбрать соответствующий ингибитор.

4. Применяют термосифонные фильтры для непрерывной регенерации масла (предусмотрено ПТЭ для трансформаторов мощностью 160 кВ·А и выше). Это наиболее совершенные методы prolongation срока службы трансформаторных масел.

Термосифон представляет собой цилиндр, заполненный адсорбентом и присоединенный патрубками к верхней и нижней частям бака трансформатора (рис. 57). Благодаря разности температур масло, циркулируя в термосифоне, очищается от воды, кислот, смол и шлама.

Количество силикагеля в фильтре должно составлять 0,25...1,5% массы масла. Чем больше силикагеля, тем выше эффективность его

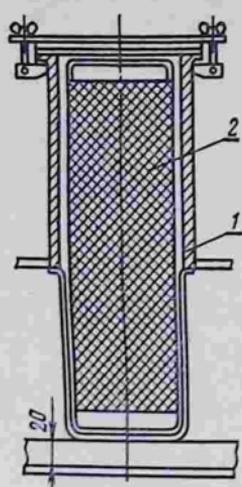
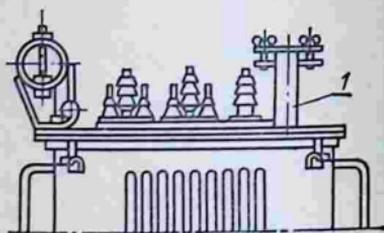


Рис. 58. Поглощительный патрон:
прон:

1 — корпус; 2 — адсорбент.



воздействия на масло. От количества силикагеля зависит продолжительность работы фильтра. Его можно включать и выключать по мере необходимости и даже переносить с одного трансформатора на другой.

Небольшие по мощности трансформаторы сельских распределительных сетей, к сожалению, не снабжаются термосифонными фильтрами.

В условиях эксплуатации при ревизиях и ремонтах трансформаторов целесообразно на крышках их баков устанавливать так называемые поглощительные патроны (рис. 58). Поглощительными патронами или термосифонными фильтрами различной конструкции можно обеспечивать при ремонтах все трансформаторы устаревших серий.

При прокаливании крупных частиц отработанного адсорбента при температуре $600...700^{\circ}\text{C}$ ($873...973\text{K}$) выгорают все органические вещества в их порах и активная поверхность частиц адсорбента восстанавливается.

Заслуживает внимания опыт использования в термосифонных фильтрах добавки к силикагелю более активного влагопоглотителя — цеолита.

Авторы исследовали изменение электрической прочности масла двух трансформаторов, один из которых был снабжен термосифонным фильтром, заполненным комбинированным адсорбентом с соотношением цеолита и силикагеля 1:5, другой не имел фильтра. Электрическая прочность трансформаторного масла без фильтра изменялась в зависимости от изменения относительной влажности окружающей среды.

Пробивное напряжение масла трансформатора с фильтром сначала возрастало даже при повышении влажности окружающей

среды (77...84%) и достигло 46,8 кВ против 36 кВ на день включения, затем пробивное напряжение масла снизилось и к шестому месяцу эксплуатации достигло 25,5 кВ, в то время как относительная влажность окружающей среды снизилась и достигла 60...70%. Такое явление объясняется тем, что количество цеолита, обладающего высокой аккумулярующей способностью, оказалось недостаточным, его возможности были исчерпаны за 2 месяца. В то время когда в трансформаторе должен был происходить естественный процесс самоосушения изоляции и масла за счет снижения относительной влажности окружающей среды, масло постепенно увлажнилось за счет десорбции влаги, накопленной цеолитом. Последнее подтвердилось контрольными взвешиваниями цеолита: по отношению к своей массе он поглотил 56% влаги.

Таким образом, цеолит может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на масло. После повышения соотношения цеолита и силикагеля в трансформаторе до 1 : 2,5 продолжительность адсорбционной способности фильтра возросла до 8 месяцев. Этого рабочего цикла вполне достаточно для регулирования влагосодержания масла в допустимых пределах в наиболее тяжелые периоды работы трансформаторов в условиях сельского хозяйства.

Контрольные взвешивания цеолита показали, что за 8 месяцев он поглотил влаги 35% своей массы. Среднее пробивное напряжение масла составило 45 кВ при низшем пределе 38 кВ в момент включения.

5. Регулярно по плану проверяют состояние масла и при необходимости очищают его.

Находящееся в эксплуатации изоляционное масло, согласно ПТЭ, должно подвергаться лабораторным испытаниям в следующие сроки:

- 1) один раз в год для трансформаторов, работающих без термосифонных фильтров, — сокращенный анализ;
- 2) не реже одного раза в 3 года для трансформаторов, работающих с термосифонными фильтрами, — сокращенный анализ;
- 3) после капитальных ремонтов трансформаторов и аппаратов.

При повышенных значениях $\text{tg}\delta$ и C_2/C_{50} обмоток и вводов трансформаторов измеряют $\text{tg}\delta$ масла.

Внеочередную пробу масла для определения температуры вспышки нужно отбирать из трансформатора при обнаружении горючего газа в газовом реле трансформатора.

В измерительных трансформаторах напряжением до 20 кВ и силовых трансформаторах мощностью до 63 кВ·А, напряжением до 10 кВ включительно пробы масла не отбирают и масло заменяют при браковочных показателях по результатам профилактических испытаний изоляции.

§ 1. Электродвигатели, применяемые в сельском хозяйстве

В настоящее время в сельском хозяйстве установлено (в среднем по стране) около одной трети электродвигателей первой серии (А и АО), около двух третей второй серии (А2 и АО2) и около 5% второй серии узкоспециализированного сельскохозяйственного исполнения АО2...СХ и четвертой серии 4А, в том числе сельскохозяйственного исполнения.

В электродвигателях устаревшей первой серии сердечники статора и ротора изготовлены из среднелегированной стали, а обмотка — из провода с волокнистой и комбинированной изоляцией. Эти активные материалы не могут обеспечить высокие технико-экономические показатели электродвигателей.

В электродвигателях второй серии использованы обмоточные провода с эмалевой изоляцией типа ПЭВ, ПЭМ, ПЭТВ, что обеспечило повышение мощности в единице объема электродвигателя примерно на 20%.

В четвертой серии электродвигателей при изготовлении сердечников применены холоднокатаная малотекстурованная сталь и при изготовлении обмотки — высококачественный провод с эмалевой изоляцией типа ПЭТ-155. Использование в этих электродвигателях высококачественных активных материалов позволило уменьшить по сравнению с предыдущими сериями электродвигателей расход стали на 25%, меди на 25% и алюминия на 30%. В ближайшие и последующие годы в сельском хозяйстве нашей страны будут эксплуатироваться в основном электродвигатели второй и четвертой серий. Рассмотрим более подробно основные характеристики электродвигателей четвертой серии и электродвигателей, рекомендуемых электропромышленностью специально для работы в специфических условиях сельского хозяйства.

Электродвигатели четвертой серии имеют меньшие габаритные размеры. При тех же и даже несколько повышенных энергетических показателях электродвигателей (коэф. к. п. д.) повышены пусковые моменты машины, уменьшен уровень шума и вибраций, ее стало удобнее монтировать и эксплуатировать, повышена надежность электродвигателей.

Трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии 4А общепромышленного применения защищенного и закрытого обдуваемого исполнения рассчитаны на работу при температуре окружающей среды от -20 до $+40^{\circ}\text{C}$ ($253\text{...}313\text{K}$), относительной влажности воздуха 80% при 25°C (298K).

Условные обозначения электродвигателей четвертой серии (на примере двигателя 4АНА90ЛВ8) расшифровываются следующим образом: 4 — номер серии; А — вид двигателя (асинхронный); Н — защищенный IP23 (для закрытых двигателей обозначение не

дается); А — алюминиевые станины и щиты (Х — алюминиевые станины и чугунные щиты; если станины и щиты чугунные, то никакого обозначения не дается); 90 — высота оси вращения, мм; L — установочные размеры по длине корпуса (S, M, L); В — длина сердечника (А, В дается в том случае, когда на одном установочном размере предусмотрены две мощности); 8 — число полюсов (2, 4, 6, 8).

Обмотку статора двигателя с высотой оси вращения 56...250 мм выполняют всыпной из круглого провода, с высотой оси вращения 280...355 мм — из прямоугольного провода с жесткими секциями. В двигателях с высотой оси вращения 56 или 63 мм предусмотрено использование изоляции класса нагревостойкости Е, с высотой оси вращения 71...132 мм — класса В, с высотой оси вращения 160...355 мм — класса F. Для работы в особых условиях окружающей среды выпускаются специализированные двигатели: химостойкого, влагохолодостойкого и тропического исполнения.

Электродвигатели в химостойком исполнении предназначены для работы в помещении и под навесом. Они отличаются от соответствующих электродвигателей основного исполнения или электрических модификаций и специализированных исполнений изоляционными материалами (стеклолакоткань и стекломиканит), обмоточными данными (провод ПЭПОТ и ПСДТ), пропиткой обмотки статора (лак МЛ-92 и ПЭ-933), а также антикоррозионными покрытиями всех узлов и деталей и смазкой подшипников. Номинальные мощности электродвигателей в химостойком исполнении на одну ступень ниже, чем у соответствующих им электродвигателей основного исполнения или электрических модификаций и специализированных исполнений. Электродвигатели в химостойком исполнении рассчитаны на работу в агрессивных средах с температурой от -20 до $+40^{\circ}\text{C}$ (253...313K) и максимальной относительной влажностью до 90%. Они почти в два раза дороже электродвигателей обычного исполнения.

Электродвигатели влагохолодостойкого исполнения аналогичны двигателям тропического исполнения.

В обмотке электродвигателей класса нагревостойкости В тропического и влагохолодостойкого исполнения главная изоляция — пленкоасбокартон и стекломиканит. Обмотка выполнена из провода ПЭТВ, ПЭТ-155, ПСДКТ и пропитана лаком МЛ-92, ПЭ-933 или К-47к. Все узлы и детали электродвигателей имеют антикоррозионные покрытия.

Влагохолодостойкое исполнение распространяется на закрытые обдуваемые электродвигатели всех девяти габаритов второй серии и на их электрические модификации и специализированные исполнения. Электродвигатели влагохолодостойкого исполнения предназначены для работы в помещениях с повышенной влажностью, а также на открытом воздухе при температуре окружающей среды от -45 до $+45^{\circ}\text{C}$ (228...318K). Следовательно, эти электродвигатели вполне удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электрооборудованию, используемому в растениеводстве на открытых зерно-

тока, под навесом, на орошении, а также могут применяться частично и в животноводстве, например к кормокухням, на летних пастбищах, на фермах при установке электродвигателей в отдельных пристройках к помещениям и т. п.

Номинальные мощности и технические данные электродвигателей 1, 5, 8 и 9-го габаритов влагохолодостойкого исполнения такие же, как у соответствующих им электродвигателей основного исполнения, модификаций и специализированных исполнений. Номинальные мощности электродвигателей 6-го и 7-го габаритов в зависимости от марки обмоточного провода могут быть на одну ступень шкалы мощности ниже, чем у соответствующих им электродвигателей основного исполнения или электрических модификаций и специализированных исполнений. Технические данные, а также масса, габариты и установочные размеры этих электродвигателей (кроме махового момента ротора) соответствуют техническим данным электродвигателей основного исполнения.

Предельное превышение температуры обмотки статора электродвигателей влагохолодостойкого исполнения при номинальном режиме работы, измеренное методом сопротивления, составляет: 75° для электродвигателей 1...5-го габаритов; 100° для электродвигателей 6...9-го габаритов с пониженной на одну ступень мощностью; 90° для электродвигателей без понижения мощности.

Учитывая тяжелые условия работы электродвигателей в сельском хозяйстве, электропромышленность разработала рекомендации по повышению их эксплуатационной надежности. Одни из рекомендаций достаточно просты и требуют изменения только некоторых технологических процессов изготовления электродвигателей, другие предусматривают перестройку всей технологии и выпуск электродвигателей специального исполнения. Например, согласно ТУ 16510—110—69, рекомендуется выпуск трехфазных асинхронных электродвигателей серии АО2 1...6-го габаритов с трехкратной пропиткой обмотки. После такой пропитки они получают название электродвигателей с трехкратной пропиткой обмотки.

В некоторых случаях для повышения эксплуатационной надежности в сельскохозяйственном производстве используются электродвигатели АО2 6...9-го габаритов повышенной нагревостойкости усиленной изоляцией статорных обмоток, имеющих класс нагревостойкости В и F.

В настоящее время электропромышленность выпускает электродвигатели узкоспециализированного сельскохозяйственного исполнения. Обмотки таких электродвигателей выполнены из провода марки ПЭТ-155, изоляция состоит из стеклолакоткани и стекломиканита. Пропитка трехкратна в лаках МЛ-92 или МГМ-8. Кроме того, лобовые части обмотки двукратно покрыты эмалью ЭП-91 или ГФ-92-ГС.

Для герметизации электродвигателя предусмотрено уплотнение подшипниковых узлов. Сельскохозяйственное исполнение распространяется на закрытые обдуваемые электродвигатели с 3-го по 7-й

габариты единой серии. Электродвигатели предназначены для при- вода сельскохозяйственных машин и механизмов и рассчитаны для работы при температуре окружающей среды от -45 (228K) до $+40^{\circ}\text{C}$ (313K), относительной влажности воздуха до 98% при 20°C (293K).

Электродвигатели могут работать в помещениях, длительно со- держащих в воздухе химически активные примеси: аммиак — до 0,03, сероводород — до 0,03, углекислый газ — до $14,7 \text{ г/м}^3$. Кон- центрация аммиака может быть увеличена до $0,09 \text{ г/м}^3$ (до 5 ч в сутки в течение 4 месяцев в год). Электродвигатели могут быть облиты дезинфицирующими растворами и находиться в среде аэро- зольей.

Электродвигатели рассчитаны на длительную работу при напря- жении, составляющем 90...80% номинального, со снижением мощ- ности на 5...15%. При напряжении сети, равном 80% номинального, электродвигатели обеспечивают работу с сохранением на валу мо- мента, равного номинальному, в течение 6 мин.

Электродвигатели сельскохозяйственного исполнения выпуска- ют в двух модификациях: СХ (например, АО2-42-4СХ) и Да...С. Их характеристики почти одинаковы, однако электродвигатели типа Да...С выпускаются также с повышенным скольжением и многоско- ростные и в отличие от электродвигателей основного исполнения имеют большие кратности пусковых и максимальных моментов, что обуславливает лучшую их эксплуатационную надежность.

Электродвигатели со встроенной температурной защитой имеют устройство (встроенную температурную защиту УВТЗ-1), предна- значенное для защиты от аварийного перегрева статорных обмоток асинхронных короткозамкнутых двигателей напряжением 220/380 В, мощностью 0,25...100 кВт.

Электродвигатели со встроенной температурной защитой мож- но применять в промышленности и других отраслях народного хо- зяйства, но наилучший эффект от их использования может быть по- лучен в сельском хозяйстве. Объясняется это тем, что электродви- гатель, правильно выбранный по конструктивному исполнению изоляции обмоток в соответствии с условиями среды, подвергается в сельском хозяйстве дополнительным воздействиям (нестандарт- ное напряжение питающей сети, повышенная вероятность обрыва фаз питающих сетей из-за их значительной протяженности, аварий- ные перегрузки и т. д.), от которых его защищает упомянутое устройство.

Устройство УВТЗ-1 отключает электродвигатель при поврежде- ниях обмоток статора, длительных перегрузках, неправильных за- тянувшихся процессах пуска и торможения, повышенной (против нормальной) частоте включений, обрыве фаз в линии или обмотке статора, значительных колебаниях напряжения сети (в пределах более 0,7...1,1 номинального), заклинивании ротора, повышенной температуре окружающей среды, нарушениях в системе охлаж- дения.

Устройство встроенной температурной защиты состоит из последовательно соединенных термодатчиков, преобразователя выходного элемента. В качестве термодатчиков используются терморезисторы с положительным температурным коэффициентом. Датчики рассчитаны на соответствующий класс нагревостойкости обмотки. Их встраивают в лобовые части обмоток электродвигателя при его изготовлении, перемотке или текущем ремонте.

Терморезисторы обладают свойством значительно (в десятки и более раз) увеличивать свое сопротивление при изменении температуры двигателя в расчетном интервале. Преобразователь выполнен на транзисторах и служит для усиления сигналов от термодатчиков и преобразования их в сигнал, удобный для управления выходным элементом. Выходным элементом является промежуточное реле, предназначенное для управления магнитным пускателем. В аварийном режиме работы электродвигателя, когда температура его обмоток превышает предельно допустимое для данного класса изоляции значение, сигнал от термодатчиков усиливается и преобразуется в сигнал, достаточный для срабатывания выходного элемента и отключения электродвигателя от сети.

Устройство УВТЗ-1 не позволяет включать электродвигатель до тех пор, пока температура его обмоток не снизится до допустимого значения. Схема устройства выполнена таким образом, что осуществляется самоконтроль и отключение электродвигателя при повреждениях самого устройства (обрыв в цепи термодатчиков, неисправность в преобразователях). Устройство УВТЗ-1 для всех типоразмеров электродвигателей унифицировано, взаимозаменяемо и не требует регулировки и настройки при монтаже и в процессе эксплуатации.

Недостаток рассмотренной защиты электродвигателя заключается в том, что для установки термодатчиков электродвигатель приходится разбирать, применение устройства повышает стоимость электропривода. При ремонте электродвигателя добавляются операции по демонтажу термодатчиков, подготовке их к монтажу и монтаж. Кроме того, в настоящее время не определена эксплуатационная надежность самих устройств. УВТЗ-1 несомненно повысит уровень эксплуатационной надежности электродвигателей, работающих в сельскохозяйственном производстве.

Как показали исследования, проведенные во ВНИПТИЭМ (Т. К. Белов и Г. С. Курбатова), вероятность безотказной работы электродвигателей после 20 000 ч их работы, эксплуатирующихся в сельском хозяйстве, составляет для электродвигателей:

общепромышленного исполнения — 0,3;

сельскохозяйственного исполнения — 0,65;

сельскохозяйственного исполнения со встроенной температурной защитой — 0,86.

Естественно, разработка электродвигателей сельскохозяйственного исполнения, в том числе и со встроенной температурной защитой, требует дополнительных капитальных затрат.

В таблице 23 приведены (по данным ВНИПТИЭМ) фактические показатели экономической эффективности применения разных типоразмеров и исполнений электродвигателей второй серии.

Таблица 23

Типоразмеры и исполнения электродвигателей	Показатели экономической эффективности (р.) применения различных электродвигателей (на 1 электродвигатель)		
	удельные дополнительные капитальные затраты	экономия эксплуатационных затрат в год	народнохозяйственный экономический эффект
31-4СХ	0,62	2,45	3,55
41-4СХ	0,4	2,63	9,92
51-2СХ	0,8	4,68	19,73
62-2СХ	1,71	9,83	54,0
71-2СХ	3,25	11,93	54,69
31-4СХТЗ	1,3	3,64	0,04
41-4СХТЗ	0,82	4,12	5,26
52-2СХТЗ	1,8	7,5	23,73

В электродвигателях общепромышленного исполнения новой, четвертой серии использованы практически те же активные материалы, что и в электродвигателях сельскохозяйственного исполнения, поэтому сроки их службы в жестких и очень жестких условиях сельскохозяйственного производства практически одинаковы, что также подтверждается данными, полученными ВНИПТИЭМ. Следовательно, можно говорить о перспективности применения электродвигателей сельскохозяйственного исполнения, а также о возможности широкого применения в сельском хозяйстве электродвигателей новой четвертой серии общепромышленного исполнения.

§ 2. Режимы работы электродвигателей и их использование в сельском хозяйстве

В различных отраслях сельскохозяйственного производства режимы работы электродвигателей неодинаковы. Они наиболее легкие в мастерских и подсобных предприятиях, более тяжелые в растениеводстве и наиболее тяжелые в животноводстве. Температура среды животноводческих помещений, как правило, не превышающая 15°C (288K), благоприятна для работы электродвигателей и позволяет допускать при необходимости определенную их перегрузку.

Наблюдения показали, что в животноводстве электродвигатели, как правило, работают с недогрузкой. Это относится к приводам центробежных насосов, доильных установок типа «карусель», вакуум-насосов, кормораздатчиков и транспортеров для уборки навоза. У электродвигателей, работающих с недогрузкой, снижаются к. п. д. и cos φ. Электродвигатели, в том числе и новой серии 4А, имеют запас по температуре нагрева. Экспериментальными исследова-

дованиями установлено, что для электродвигателей первой и второй серии мощностью до 40 кВт этот запас составляет 20...30°. Для электродвигателей меньшей мощности тепловой запас больше. Этот запас также позволяет допускать при необходимости перегрузку электродвигателей без снижения срока их службы (по нагревостойкости изоляции).

Сезонность и односменность работы, характерные для сельскохозяйственного производства, определяют относительно низкую степень использования установленного электрооборудования как в течение суток, так и на протяжении года. В разных отраслях производства электродвигатели также используются неодинаково. Например, крайне различно использование электродвигателей в мастерских и других подсобных предприятиях. Наждачные и сверлильные, а часто и токарные, фрезерные и долбежные станки работают в кратковременном режиме, часть станков работает в повторно-кратковременном режиме, а электродвигатели вентиляторных установок работают в длительном режиме. Различные пилорамы и деревообрабатывающие станки работают в повторно-кратковременных режимах.

На зернотоках часть электродвигателей, например привод опрокидывателя автотранспорта, работает кратковременно, часть электродвигателей работает в повторно-кратковременном режиме, а большая часть — в длительном и часто в две смены. Различны режимы работы электродвигателей, используемых на орошении.

Подавляющая часть электродвигателей в животноводстве установлена на кормораздаче, дойке и уборке навоза и используется в кратковременном режиме работы.

Только в мастерских и подсобных предприятиях электродвигатели работают на протяжении всего года; в животноводстве они очень часто используются только в стойловый период; на орошении электродвигатели работают два-три месяца, а на зерноочистке — всего несколько недель. Исследования показали, что использование электродвигателей по времени в течение суток, по основным процессам животноводства (кормоприготовление, кормораздача, уборка навоза, доение) составляет 0,17, а с учетом водоснабжения и вентиляции — 0,25 и в целом по сельскохозяйственному производству тоже 0,25.

Большинство электродвигателей работает кратковременно — только в течение четвертой части суток с несколькими включениями за этот период.

Следует учесть, что на всех кратковременных процессах, как правило, установлены электродвигатели общепромышленного исполнения, рассчитанные на длительную работу при номинальной нагрузке. Малая продолжительность использования электродвигателей позволяет допускать их перегрузки без ущерба для срока службы. Однако длительность использования электродвигателей тесно связана с явлениями тепло- и влагообмена между изоляцией электродвигателя и окружающей средой.

§ 3. Влагообмен между изоляцией электродвигателей и окружающей средой

Между изоляцией электродвигателя и окружающей средой практически постоянно происходит влагообмен. Способность поглощать или отдавать влагу зависит от конструкции электродвигателя, его состояния (под нагрузкой, холостой ход, нерабочая пауза), структуры и состава изоляции.

Влага в изоляционных материалах может находиться в виде растворов, коллоидов, абсорбционного слоя на поверхности изоляции и т. д.

Для упрощения при рассмотрении физики процесса влагообмена влагу, которая находится в изоляции, делят на два вида: свободную и связанную.

В электродвигателях закрытого типа свободная влага отсутствует, так как непосредственного соприкосновения изоляции с водой нет.

Связанная влага есть в гигроскопичных изоляционных материалах (влага макро- и микрокапилляров, влага в крупных порах и пустотах, влага смачивания).

Однако электродвигатели закрытого обдуваемого исполнения не являются герметичными, и влажный воздух из окружающей среды контактирует с изоляцией электродвигателя. При этом может происходить как увлажнение изоляции, так и ее осушение в зависимости от режима работы электродвигателя.

Рассмотрим этот процесс влагообмена.

Испарение влаги из материала обуславливается диффузией пара с поверхности материала в окружающую среду (внешняя диффузия). Диффузия происходит тем интенсивнее, чем больше разность между парциальным давлением пара у поверхности материала и давлением в окружающей среде. В зависимости от значения градиента давления (соотношения между давлениями пара у поверхности материала и в окружающей среде) определяется направление диффузии, то есть ход процесса в сторону сушки или увлажнения.

Внутренняя диффузия наблюдается в виде движения влаги в жидком или газообразном состоянии от внутренних увлажненных слоев изоляции к ее подсушенной поверхности. При этом влага перемещается от мест с большей влажностью в места с меньшей влажностью (влагопроводимость).

Кроме этого, существует так называемая термодиффузия влаги от слоев изоляции более нагретых к менее нагретым. Следовательно, полный поток влаги определяется следующим образом:

$$m = m_p + m_w + m_t,$$

где m_p , m_w и m_t — масса влаги, проходящей через единицу сечения в единицу времени под воздействием соответствующего градиента.

Каждый из этих компонентов выражается известными соотношениями:

$$m_p = k_p \text{ grad } P,$$

$$m_w = k_w \text{ grad } W,$$

$$m_t = k_t \text{ grad } t,$$

где k_p , k_w и k_t — соответственно коэффициенты молярного переноса пара, влагопроводности и термовлагообмена (термодиффузии).

Изменение влагосодержания изоляции обмотки в процессе эксплуатации электродвигателя можно проследить по изменению сопротивления изоляции.

Проанализируем процесс влагообмена в изоляции электродвигателя, работающего в тяжелых условиях сельскохозяйственного производства при повышенной (до 100%) влажности окружающей среды.

Когда электродвигатель находится в нерабочем состоянии в помещении с высокой относительной влажностью, на его изоляцию воздействует только градиент влажности. Изоляция электродвигателя поглощает влагу из воздуха — происходит процесс увлажнения. Вначале увлажняются наружные слои изоляции, далее процесс продолжается и увлажняются внутренние слои изоляции. Процесс увлажнения продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто равновесное состояние увлажненности изоляции и окружающей среды. Увлажнение изоляции обмотки приводит к резкому снижению ее диэлектрических характеристик: сопротивления изоляции, электрической прочности и др. Характер изменения сопротивления изоляции обмотки неработающего электродвигателя и его влагосодержания во времени показан на рисунке 59.

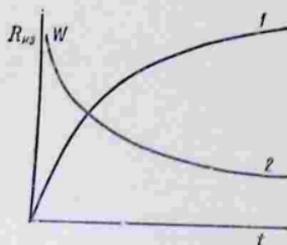


Рис. 59. Изменение сопротивления изоляции неработающего электродвигателя и его влагосодержания во времени:

1 — изменение влагосодержания во времени; 2 — изменение сопротивления изоляции во времени.

При установившемся равновесии происходит стабилизация сопротивления изоляции электродвигателя. После включения электродвигателя в работу начинает нагреваться его обмотка. В начальный период после пуска более нагретой оказывается витковая изоляция обмотки и изоляция паза, ближе расположенная к виткам обмотки, в результате чего создается положительный градиент температуры — поток тепла направлен от центра изоляции к периферии. Под воздействием градиента температуры начинается перемещение влаги.

По мере роста температуры обмотки влага, находящаяся в порах изоляции, начинает переходить в парообразное состояние — изоляция «распаривается», па-

ры влаги проникают в мельчайшие поры изоляции, и сопротивление изоляции обмотки снижается. В зависимости от начального влагосодержания и структуры изоляции снижение сопротивления изоляции при ее разогреве будет различным. В одних случаях (при относительно сухой изоляции) снижение сопротивления изоляции невелико, в других случаях (сильно увлажненная изоляция) — значительно и представляет опасность для электрической прочности изоляции. Последнее необходимо учитывать эксплуатационному персоналу сельских установок.

При дальнейшем росте температуры обмотки влага начинает испаряться вначале с поверхности обмотки, при этом направления потоков тепла и влаги совпадают. Наложение процессов влаго- и теплопроводности приводит к возникновению термо- и влагопроводности.

Возрастание температуры влаги и воздуха, находящегося в порах изоляции, вызывает повышение их давления — возникает градиент давления, различно направленный в разных зонах паза.

В этот период происходит перемещение паров влаги из изоляции в окружающую среду, то есть процесс сушки. Сопротивление изоляции электродвигателя возрастает.

При длительной работе электродвигателя влага, находящаяся в его изоляции, будет удалена — произойдет процесс осушения. При этом сопротивление изоляции достигнет установившегося значения для данной температуры. После отключения электродвигателя он начнет охлаждаться и в изоляции его обмотки возникнут обратные процессы — изоляция обмотки начнет увлажняться.

Таким образом, в изоляции нормально работающего электродвигателя произойдет влагообмен, она осушится или увлажнится.

Скорость удаления влаги из обмотки электродвигателя в процессе его работы зависит от следующих факторов:

- а) гигроскопических свойств изоляционного материала;
- б) степени увлажнения изоляции;
- в) степени загрузки электродвигателя;
- г) температуры и влажности окружающей среды.

Обмотки, пропитанные водоземлемыми лаками, можно осушить электрическим током в течение 1,5...2 ч. Однако нужно иметь в виду, что обмотка в этом случае глубоко увлажнена; она буквально обводнена, так как опускалась при пропитке в водный раствор лака.

Нужно учесть также степень вентиляции при сушке. По сравнению с массой обмотки в целом масса ее изоляции является величиной второго порядка. Обмотка работающего электродвигателя пропитывалась и просушивалась при производстве или ремонте. Поэтому глубокое ее увлажнение маловероятно. Работающий электродвигатель хорошо вентилируется.

Продолжительность осушения изоляции электродвигателя при работе должна быть небольшой и меньше, чем продолжительность его сушки током.

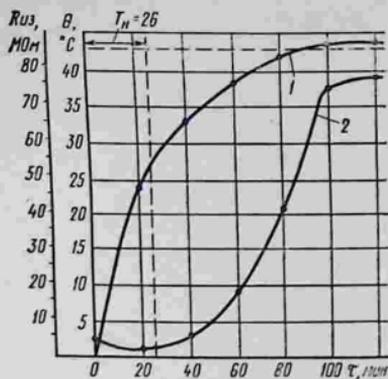


Рис. 60. Изменение сопротивления изоляции при осушении сильно увлажненного электродвигателя:
1 — температура нагрева; 2 — сопротивление изоляции.

С некоторыми допущениями можно считать продолжительность осушения пропорциональной скорости нарастания температуры. Можно предполагать, что минимально возможная продолжительность осушения близка к продолжительности нагрева электродвигателя до установившегося значения, но с учетом инерционности происходящих процессов всегда больше последней. Чем сильнее увлажнена изоляция, тем длительнее процесс «распаривания», больше сдвиг между нагревом и началом осушения и больше общая продолжительность осушения (рис. 60). После включения электродвигателя в работу сопротивление изоляции его обмоток уменьшается (на 30...50%), а затем возрастает и достигает установившегося значения. Сопротивление изоляции электродвигателя после самоосушения, как показали эксперименты, может быть равно первоначальному сопротивлению изоляции (перед пуском) или же превышать его в 2...8 раз. Чем сильнее был увлажнен электродвигатель перед работой, тем относительно выше значение установившегося сопротивления изоляции.

Наблюдения в производственных условиях подтвердили, что в нерабочем режиме сопротивление изоляции электродвигателя снижается. Чем относительно меньше продолжительность работы и больше простой электродвигателя, тем сильнее увлажняется его изоляция и тем меньше значение установившегося сопротивления ее в нерабочем режиме электродвигателя.

Эксплуатация электродвигателя в кратковременном режиме работы значительно ухудшает состояние его изоляции.

В период пуска изоляция подвергается термическому и динамическому удару, затем по мере разогрева электродвигателя проводники его обмотки увеличивают свои размеры, вызывая изменение размеров изоляции проводников. Изоляция проводников вытягивается.

При выключении электродвигателя все процессы протекают в обратном порядке: изоляция испытывает динамический удар, проводники обмотки, охлаждаясь, уменьшаются в своих размерах, достигая исходных; лаковая пленка изоляции, если она эластична, следуя за проводником, также достигает исходного состояния.

Увеличение числа включений и отключений ведет к старению изоляции, ее деструкции, она начинает терять свою эластичность, появляются и возрастают микротрещины на ее поверхности. Так

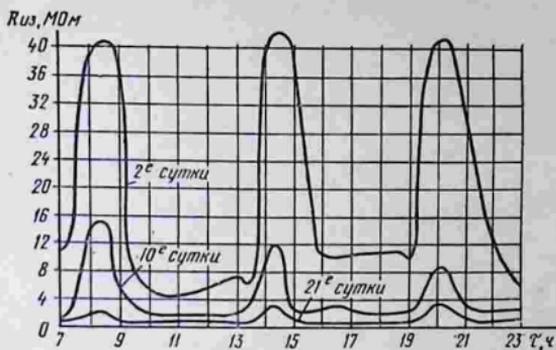


Рис. 61. Изменение сопротивления изоляции электродвигателя в течение суток.

как под воздействием нагретого проводника изоляция увеличивается в своих размерах, то при охлаждении в период между рабочими паузами она, старея, может занять промежуточное положение, не достигнув исходного. Образуется микрощель между изоляцией и проводом.

Наличие микротрещин на пленке изоляции и микрощелей между изоляцией и проводником создает условия для проникновения влаги в изоляцию обмотки, увеличивает влагосодержание обмотки. Диэлектрические характеристики изоляции электродвигателя резко снижаются, и электродвигатель может выйти из строя.

На рисунке 61 показано изменение сопротивления изоляции электродвигателя АО2, установленного на навозоуборочном транспортере с трехкратным включением, в течение суток.

Анализ приведенных кривых убедительно подтверждает изложенные выше теоретические рассуждения. Появление же микротрещин было подтверждено нами экспериментально.

Любое увлажнение изоляции обмоток электродвигателей нежелательно, так как может достигнуть опасной степени. Однако еще более нежелателен процесс влагообмена в агрессивной среде, например в среде животноводческих помещений с содержанием аммиака. В качестве иллюстрации к сказанному на рисунке 62 приведена зависимость сопротивле-

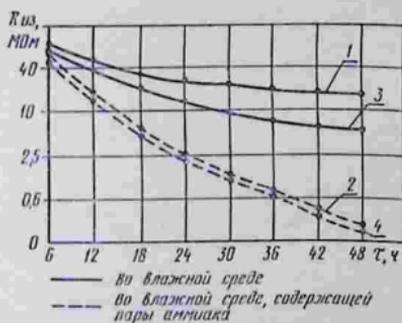


Рис. 62. Зависимость сопротивления изоляции электродвигателя от продолжительности пребывания ее в испытательной камере: 1 и 2 — провода ПЭТВ; 3 и 4 — провода ПЭВ2.

ния корпусной изоляции макетов электродвигателей от продолжительности пребывания их в испытательной камере со 100%-ной влажностью без аммиака и с аммиаком. Аналогичные зависимости получены для междуфазовой и витковой изоляции макетов. При этом зависимость сопротивления изоляционной конструкции от продолжительности пребывания в испытательной камере имеет вид гиперболы.

Таким образом, электродвигатели с кратковременным режимом работы, особенно во влажной агрессивной среде, интенсивнее увлажняются и стареются, что необходимо учитывать эксплуатационному персоналу.

§ 4. Классификация условий эксплуатации. Влияние условий эксплуатации на срок службы электродвигателей

Классификация оборудования по местам установки электродвигателей без учета режимов их работы приведена в таблице 24.

Во ВНИПТИЭМ разработана новая классификация условий

Таблица 24

Места размещения электроустановок по ГОСТ 15150-69	Категория помещения согласно ПТЭ	Категория условий среды	Примерный перечень помещений
Открытый воздух	—	Жесткие	Приводные станции навозных транспортеров, агрегаты АВМ и др.
Под навесом со сравнительно свободным доступом наружного воздуха	Влажные	Жесткие	Приводные станции навозных транспортеров вне помещений, накрытые кожухами, кормоприготовительные машины и агрегаты, установленные под навесом
То же, с источником влаги и химически активных газов	Сырые	Жесткие	Вентилируемые навозоуборочные помещения с открытой поверхностью испарения
В помещениях с естественной вентиляцией без каких-либо средств создания микроклимата	Сухие	Нормальные	Механические мастерские
	Пыльные Влажные	Жесткие Жесткие Жесткие	Вакуумные помещения Цехи комбикормов Навозосборные помещения с резервуарами для пневмоудаления
Помещения с искусственным регулированием климата Сырые помещения	Сухие	Легкие	Жилые помещения, лаборатории, клубы
	Сырые Особо сырые	Жесткие Жесткие	Цехи влажных кормов Пункты первичной обработки молока
	Особо сырые с химически активной средой	Особо жесткие	Стойловые помещения

эксплуатации электродвигателей, учитывающая место установки электродвигателя, режим его работы, условия и частоту пусков, уровень вибрации и другие факторы, влияющие на надежность электродвигателя.

Условия эксплуатации разделены на легкие, нормальные, жесткие и особо жесткие.

Легкие условия эксплуатации означают, что один или несколько факторов, влияющих на надежность электродвигателя, отклоняются от номинальных режимов в сторону их облегчения.

Жесткие условия характеризуются наличием одного из факторов, значение которого выше номинального уровня.

Особо жесткие условия характеризуются наличием двух и более факторов, превышающих номинальные значения, либо один из факторов из-за чрезвычайно высокого отклонения от номинального уровня значительно снижает надежность электродвигателя.

Режимы работы электродвигателей (S1...S8) приняты по ГОСТ 183—74.

Кратковременный режим работы S2 отнесен к жестким условиям эксплуатации, так как из-за малого периода его работы температура электродвигателя не достигает установившегося значения и его изоляция не успевает высохнуть. В период пауз электродвигатель остывает практически до холодного состояния.

Режимы с частыми пусками и реверсами S4, S5, S6, S7 сопровождаются значительными тепловыми, коммутационными и механическими воздействиями на обмотку и механическими на подшипники и поэтому отнесены к особо жестким условиям эксплуатации.

Условия пусков в зависимости от режима работы электродвигателей приняты следующие: для легких условий эксплуатации — 0,2 пуска в час; жестких — более 10; нормальных — 2...10; особо жестких — значительно больше 10 пусков в час.

Исследования влияния продолжительности пуска электродвигателей на надежность позволили принять следующую градацию продолжительностей по условиям эксплуатации: для легких — менее 1 с; нормальных — 1...3; жестких — 3...10; особо жестких — более 10 с.

Коэффициенты загрузки приняты следующие: для легких условий эксплуатации — менее 1; нормальных — 1; жестких и особо жестких — более 1.

Уровень вибрации принят, исходя из условий эксплуатации: менее 10 мм/с — для легких и нормальных и более 10 мм/с — для жестких и особо жестких.

Условия окружающей среды, согласно ГОСТ 15150—69, приняты следующие: легкие условия эксплуатации — закрытые помещения с искусственно регулируемым климатом; нормальные — закрытые помещения с естественной вентиляцией; жесткие — открытый воздух, навесы и помещения с повышенной влажностью.

Запыленность определена по данным исследований и классифицирована следующим образом: при содержании пыли менее

16 мг/м³ — легкие условия; 16...60 мг/м³ — нормальные и свыше 60 мг/м³ — жесткие.

Загазованность определена по техническим условиям на электродвигатели для сельскохозяйственного производства и по аммиаку для легких условий составляет менее 0,03 г/м³; нормальных — 0,03 и жестких — более 0,03 г/м³.

Сочетание влажности и аммиака представляет особо жесткие условия эксплуатации электродвигателей, особенно общепромышленного исполнения.

Степень влияния аварийного состояния приводного механизма на электродвигатель определяют следующим образом. При 10 отказах привода, приходящихся на 1 отказ электродвигателя, условно принято считать влияние приводного механизма на электродвигатель незначительным, при меньшем числе отказов привода — значительным.

Влияние условий эксплуатации на вероятность безотказной работы и срок службы электродвигателей второй серии общепромышленного исполнения иллюстрируется данными, приведенными в таблице 25.

Таблица 25

Условия эксплуатации	Среднее значение вероятности безотказной работы электродвигателя, отн. ед.	Средний срок службы электродвигателя, лет
Легкие	0,7	10...8
Нормальные	0,6	6...5
Жесткие	0,5	4...3
Особо жесткие	0,2	До 2

Данные таблицы убедительно показывают непригодность электродвигателей общепромышленного исполнения второй серии к использованию в тяжелых (жестких) и особо тяжелых (особо жестких) условиях сельскохозяйственного производства.

§ 5. Особенности эксплуатации погружных электродвигателей

В последнее время для бытовых нужд сельского населения и для орошения земель широко используются подземные воды. Почти в каждом совхозе, колхозе имеется несколько скважин, оборудованных погружными электронасосами. В связи с этим в сельском хозяйстве все более заметную роль начинают играть погружные электродвигатели. В края и областях созданы и создаются новые организации по эксплуатации и ремонту электрифицированных установок для подземного водоснабжения.

Проведенные наблюдения показывают, что срок службы погружных электронасосов значительно меньше срока, установленно-

го заводами-изготовителями, и составляет в среднем 40% нормированного. Согласно статистике, около 70% неисправностей электронасосов приходится на электродвигатели.

Надежность погружных электродвигателей зависит от конструктивных и технологических факторов, устройств защиты от аварийных режимов, а также от условий и уровня эксплуатации.

Основные причины выхода погружных электродвигателей из строя следующие:

а) недостаточный уровень технической эксплуатации (по этой причине происходит 30% всех повреждений);

б) особо жесткие условия эксплуатации;

в) отсутствие надежной защиты от аварийных режимов (перегрузка, работа на двух фазах и др.) — 35%.

В настоящее время в эксплуатации находятся в основном электронасосы следующих двух типов: МАПЗМ и ПЭДВ (соответственно: машина асинхронная погружная третьей серии модернизированная и погружной электрический двигатель водонаполненный).

Погружные двигатели старых серий негерметизированы, их полость соприкасается с водой через мелкий сетчатый фильтр. Вода химически воздействует на изоляцию обмотки и металлические части двигателя, а абразивные частицы, несмотря на наличие фильтра, вызывают износ изоляции и подшипников.

Электродвигатель типа МАПЗМ — полугерметизированный, а ПЭДВ — полностью герметизирован. Двигатели ПЭДВ имеют наилучшую эксплуатационную надежность. Однако их надежность недостаточна, наработка до ремонта колеблется в пределах от 2600 до 4200 ч, что почти в два раза ниже гарантированной заводами-изготовителями. Вероятность безотказной работы нового электродвигателя составляет в среднем не более 0,2 вместо нормированной 0,9. Средний срок службы колеблется в пределах от 1,2 до 1,5 года.

Одна из основных причин неудовлетворительной надежности погружных электронасосов — процессы коррозии металлических частей и старение изоляции обмоток. Эти процессы происходят как в работающем, так и в неработающем электродвигателе, который рекомендуется заливать дистиллированной водой.

Для повышения эксплуатационной надежности погружных электродвигателей необходимо защитить их от воздействия окружающей среды. В качестве такой защиты предложено заполнять электродвигатели дистиллированной ингибированной водой. Как правило, все воды скважин содержат различные примеси. В герметизированном электродвигателе, заполненном дистиллированной водой, состав добавляемого ингибитора остается постоянным. Оптимальный состав этого ингибитора следующий: уротропин — 2,4 г/л; нитрит натрия 1,09 г/л; хромат калия — 0,62 г/л. При таком составе ингибитора скорость коррозии деталей и узлов электродвигателей значительно замедляется.

Ингибированная дистиллированная вода наименее активна и по отношению к изоляции обмоток. Опыт показывает, что в погруж-

ных электродвигателях слабым узлом является место соединения обмотки с кабелем. Применение липкой полихлорвиниловой ленты не дает положительного эффекта. Усиление изоляции в месте соединения лаком цапон привело к желаемому результату.

Более 100 штук погружных электродвигателей, залитых ингибированной дистиллированной водой с изоляцией мест соединения обмоток, усиленной при помощи лака цапон, были поставлены на пробную эксплуатацию, которая показала, что средний срок их службы возрос более чем в 2,5 раза.

Следует учесть дешевизну ингибитора и возможность его приготовления в любой химической лаборатории. Приготовленный раствор дистиллированной воды с оптимальным составом ингибитора имеет длительный срок хранения. Он может быть заранее подготовлен и расходоваться по мере надобности.

Погружные электродвигатели снабжаются станциями управления старой серии ПЭТ и новой, изготовленной на логических элементах, типа ШЭТ. При комплектовании электродвигателей станциями типа ПЭТ по вине последних выходит из строя 15% электродвигателей, а при наличии станции типа ШЭТ — только 8%.

Таким образом, эксплуатационная надежность погружных электродвигателей может быть заметно повышена простыми мерами при очередных ремонтах и ревизиях их в эксплуатации.

§ 6. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей, используемых в сельском хозяйстве

Основные причины выхода из строя электродвигателей в сельском хозяйстве — это несоответствие условиям среды, неполнофазные режимы, аварийные перегрузки и недостаточный уровень эксплуатации.

Для устранения первой причины принимают следующие меры:

- 1) выпускают электродвигатели повышенной надежности;
- 2) модернизируют электродвигатели старых серий;
- 3) выносят электродвигатели за пределы влажной агрессивной среды;
- 4) включают электродвигатель в сеть через конденсаторы;
- 5) защищают электродвигатели от аварийных технологических перегрузок, заклиниваний ротора и неполнофазных режимов работы;
- 6) контролируют уровень изоляции электроустановок;
- 7) своевременно проводят техническое обслуживание и текущий ремонт электродвигателей.

1. Повышая надежность двигателей, заводы выпускают электродвигатели узкоспециализированного исполнения для условий сельскохозяйственного производства.

Опыт эксплуатации показывает, что в наиболее тяжелых условиях работы в животноводстве срок службы электродвигателей сельскохозяйственного исполнения и электродвигателей новой, чет-

второй серии общепромышленного исполнения достигает 8 лет, а второй серии общепромышленного исполнения — всего 1...2 лет. Сопротивление изоляции электродвигателей, составляющее перед вводом их в эксплуатацию порядка 1000 МОм, снизилось за стойловый период работы у первых исполнений только до 500 МОм, а у второй серии до 0,2 МОм. В ближайшие годы электропромышленность страны практически полностью перейдет на выпуск электродвигателей только четвертой серии, в том числе и сельскохозяйственного исполнения. Таким образом, сельское хозяйство в скором времени будет оснащено электродвигателями, соответствующими тяжелым условиям среды.

2. Электродвигатели старых серий модернизируют при их капитальном или текущем ремонте, например, герметизируя лобовые части их обмоток при помощи компаундов. Для сохранения ремонтпригодности электродвигателей желательно применять компаунды на основе синтетического каучука, а не на основе эпоксидных смол. Опыт эксплуатации капсулированных двигателей показывает, что за стойловый период работы сопротивление изоляции их не было ниже 500 МОм. Ускоренные испытания показывают, что срок службы капсулированных электродвигателей может достигать 8 лет. Опыт эксплуатации электродвигателей показывает необходимость усиления изоляции выводных концов при помощи липкой полихлорвиниловой ленты или применения ленты и лака или капсулирования их.

3. Электродвигатели довольно часто выносят за пределы влажной агрессивной среды. Но это мероприятие требует значительных капитальных вложений в строительство пристроек и прокладку силовых и контрольных проводов. Следует отметить, что создание микроклимата в животноводческих помещениях, необходимого для повышения продуктивности животных и птицы, не всегда облегчает работу электродвигателей. В частности, электродвигатели четвертой серии общепромышленного исполнения надежно работают в помещениях промышленных комплексов крупного рогатого скота, но ненадежны при работе на некоторых объектах свинокомплексов, например на крышных вентиляторах.

4. В период нерабочих пауз электродвигатель включают в сеть через конденсаторы по методу академика ВАСХНИЛ Л. Г. Прищепа (рис. 63). За счет потерь в стали и в обмотке статора электродвигатель в период нерабочих пауз нагревается, и его температура на 5...10° превышает температуру окружающей среды, что препятствует проникновению внутрь

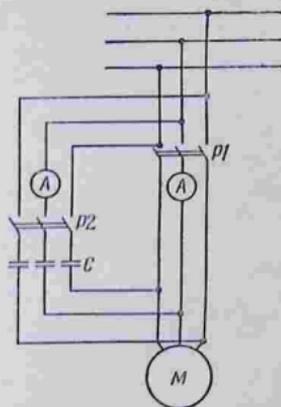


Рис. 63. Схема подогрева электродвигателя емкостным током.

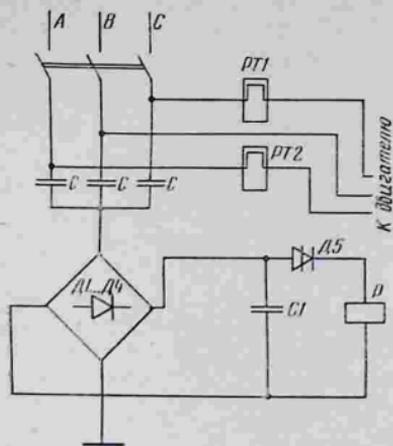


Рис. 64. Схема с использованием конденсаторов для защиты от потери фазы.

изоляции электродвигателя влаги и ее агрессивных примесей. При таком подогреве электродвигателя улучшается коэффициент мощности электроустановки фермы в целом. Необходимо отметить, что при несколько завышенной, на 25...30%, мощности электродвигателя и подключении батареи конденсаторов к клеммам электродвигателя последний может не отключаться от сети в случае потери фазы и работать в режиме однофазного питания, сохраняя непрерывный технологический процесс (например, доение).

Кроме того, индивидуальные конденсаторные батареи, соединенные в звезду, можно использовать в качестве элемента реле защиты от потери фазы для дви-

гателей, однофазный режим которых недопустим (рис. 64). Емкость фаз индивидуальных батарей конденсаторов (ИБК), соединенных треугольником, для электродвигателей единой серии основного общепромышленного исполнения мощностью до 10 кВт определяют из следующих выражений: $C = 1,3 (1 + 2P_n)$; $C = 3 (1 + P_n)$; $C = 3,7 (1 + P_n)$; $C = 3,5 (3 + P_n)$ при частоте вращения электродвигателя соответственно 3000, 1500, 1000, 750 об/мин.

При мощности электродвигателей выше 10 кВт $C = 10 + P_n$ при частоте вращения электродвигателей 3000, 1500 и 1000 об/мин и $C = 30 + 2P_n$ — при 750 об/мин.

Здесь P_n измеряется в киловаттах, C — в микрофарадах.

Емкость фаз ИБК для электродвигателей исполнения АО2-СХ должна быть увеличена на 35% по сравнению с определенной по приведенным выражениям. При использовании ИБК в период нерабочих пауз необходимо соблюдать особую предосторожность, так как электродвигатель, хотя и неподвижен, но находится под напряжением. Кроме того, необходимо периодически контролировать емкость ИБК, а также эффективность компенсации коэффициента мощности.

Периодичность противосыровостных мероприятий зависит от места установки электрооборудования и его исполнения.

5. От аварийных технологических перегрузок в сельском хозяйстве применяется встроенная в обмотку температурная защита электродвигателей (УВТЗ) как общепромышленного, так и сельскохозяйственного исполнения. Защиту устанавливают в обмотку как при изготовлении на заводах, так и при текущем или капитальном ремонте на ремонтных предприятиях и в мастерских хозяйств.

В качестве температурных датчиков УВТЗ служат три последовательно соединенных позистора, встроенных по одному в лобовую часть каждой обмотки статора. При аварийном режиме работы электродвигателя температура его обмоток достигает недопустимого значения, при котором сопротивления термодатчиков резко возрастают, что и приводит к срабатыванию УВТЗ и отключению электродвигателя от сети*.

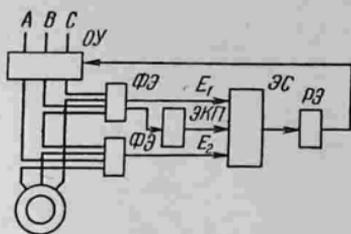


Рис. 65. Структурная схема защитного устройства:

ФЭ — формирующий элемент; ЭС — элемент сравнения; РЭ — реагирующий элемент; ЭКП — элемент контроля перегрузок; ОУ — отключающее устройство.

Однако при недостаточно тщательном выборе терморезистора УВТЗ, который должен строго соответствовать классу нагревостойкости данного электродвигателя, происходит запаздывание работы УВТЗ и электродвигатель выходит из строя, особенно при заклинивании его ротора. Объясняется это тем, что запасенная ротором электроэнергия при его заклинивании может вызвать перегрев обмотка статора электродвигателя даже после его отключения.

В нашей стране, особенно в Прибалтике, широко применяется фазовая универсальная защита (ФУЗ), основанная на контроле амплитудных значений и фазовых сдвигов токов нагрузки фаз электродвигателя (рис. 65).

Система защиты в нормальном режиме работы электродвигателя отстраивается так, чтобы на ее выходе индуктировались две равные по значению, но сдвинутые на 90° э. д. с.

Во время аварий при появлении неполнофазных режимов или коротких замыканий нарушается симметрия фазовых соотношений трехфазной системы токов и напряжений, питающих электродвигатель.

При неполнофазных режимах работы электродвигателя угол сдвига между векторами э. д. с. становится равным 0 или 180° , а при коротких замыканиях, заклинивании ротора и перегрузках электродвигателя угол сдвига меняется произвольно в зависимости от характера и места аварии и степени перегрузки. Разбалансируется и равенство амплитудных значений э. д. с. Разбалансирование амплитудных значений и фазовых сдвигов э. д. с. служит датчиком для срабатывания защиты и отключения электродвигателя от сети.

Статистические данные показывают, что до 70% электродвигателей, работающих в сельском хозяйстве, снабжены магнитными пускателями, которые часто имеют случайные тепловые реле или вообще их не имеют. Простые меры по правильному выбору тепло-

* Практикум по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования. А. А. Пястолов, А. А. Попков, А. А. Большаков и др. — М.: Колос, 1976.

вого реле с учетом режима работы электродвигателя, расположения его и магнитного пускателя, а также регулировка теплового режима в зависимости от температуры окружающей среды позволяет заметно снизить аварийность электродвигателей.

6. Для постоянного или эпизодического контроля уровня изоляции электроустановок, в том числе и электродвигателей, служат различные приборы с питанием от микробатарей или от сети, компактные, переносные, стационарные, которые можно устанавливать на отдельную электроустановку или на объект с рядом потребителей. Приборы могут работать на сигнал, например световой, о появлении которого персонал, обслуживающий рабочие машины (доярки, скотники и т. д.), информирует работников электротехнической службы. Таким образом, упрощается контроль за состоянием электроустановки, выявлением слабых ее мест и появляется возможность своевременного профилактического обслуживания электроустановок. Приборы могут срабатывать и на отключение электроустановки, сопротивление изоляции которой снизилось до предусмотренных значений, но в этом случае произойдет простой технологического оборудования.

7. Техническое обслуживание и текущий ремонт электродвигателей проводят в сроки, предусмотренные ППРЭсх.

Глава VI

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

§ 1. Эксплуатация осветительных и облучательных установок

Осветительные установки подразделяются на два типа: с лампами накаливания и с газоразрядными лампами. Эти лампы резко отличаются друг от друга, что необходимо учитывать при их эксплуатации. Так они по-разному реагируют на колебания напряжения питания и параметры среды.

Светоотдача лампы накаливания пропорциональна напряжению в степени 3,6. Для ламп общего назначения в нормальных условиях срок службы их составляет 1000...2500 ч, а при увеличении приложенного к ним напряжения всего на 5% срок службы сокращается примерно в два раза. Лампы накаливания практически не реагируют на температуру и влажность среды. Приходится учитывать только влияние влажности на коррозию металлических частей ламп, что иногда приводит к нарушению контакта и погасанию лампы, а от запыленности помещения зависят сроки чистки ламп.

Зажигание и светоотдача газоразрядных (люминесцентных) ламп практически не зависят от колебаний приложенного напряжения. Срок их службы значительно выше, чем ламп накаливания. Так, средний срок службы люминесцентных ламп низкого давления

типа ЛБ, ЛД, ЛХБ, ЛТБ составляет 10 000 ч, а люминесцентных ламп типа ЛБА — 12 000 ч.

Однако работа люминесцентных ламп зависит от температуры окружающей среды, и чем выше температура, тем выше давление газов внутри лампы и активнее процесс ее зажигания. При низких температурах лампа зажигается значительно хуже. Интенсивное солнечное облучение лампы положительно влияет на ее работу. Люминесцентные лампы работают при больших колебаниях напряжения, однако они очень плохо загораются при пониженном напряжении. Следует учитывать, что лампы высокого давления старого типа ДРЛ, нового типа ДРИ и сверхвысокого давления типа ДКСТ (ксеноновые) имеют длительный период загорания — до 10 мин, новое их включение возможно только после полного их охлаждения (тоже порядка 10 мин.). Изменение влажности среды ведет к изменению теплоотдачи лампы и, следовательно, влияет на устойчивость ее работы.

В процессе эксплуатации осветительной установки происходит уменьшение светового потока и снижение к. п. д. светильников. Принимая осветительную установку в эксплуатацию, проверяют соответствие проекту всех элементов установки, правильность крепления светильников, выключателей, штепсельных розеток, щитков и т. д. (выборочно).

Чистят осветительные приборы по мере их загрязнения, напряжение при чистке отключают. В пыльных помещениях (кормокухни, зерносклады и т. п.) рекомендуется чистить лампы четыре раза в месяц, в помещениях со средним выделением пыли (мастерские, животноводческие фермы и т. п.) — три раза в месяц, в помещениях с незначительным выделением пыли (конторы, школы, клубы) — два раза в месяц и в наружных установках — три раза в год.

Вышедшие из строя лампы нужно своевременно заменять. Несоблюдение последнего условия может вызвать перегрев светильника, высыхание изоляции проводов и быстрое ее старение, что может стать причиной короткого замыкания.

Одновременно с проведением технических уходов за электропроводками (согласно ППРЭСх, один раз в шесть месяцев в чистых сухих помещениях с нормальной средой и один раз в три месяца в сырых, пыльных, пожароопасных помещениях) необходимо люксометром измерять освещенность в установленных контрольных точках помещений на уровне рабочих поверхностей и сравнивать ее с нормируемой. При необходимости принимают соответствующие меры.

Эксплуатация облучательных установок с лампами накаливания инфракрасного излучения типа ИКЗ, эритемных люминесцентных ламп типа ЛЭ, ЛЭР и бактерицидных ламп типа ДБ имеет свои особенности. Для каждой из них в соответствии с имеющимися инструкциями составляют график и режим работы (облучения). Облученность контролируют при помощи уфиметра. Излучаемая

ультрафиолетовая радиация зависит от приложенного к лампе напряжения, при отклонении последнего более чем на 5% вносят поправки в режим облучения. Чаще всего это делают экспериментальным путем, то есть уфиметром снимают зависимость интенсивности облученности от напряжения, приложенного к лампе.

По мере старения ламп их лучистый поток уменьшается, и в связи с этим ежедневно длительность облучения нужно пропорционально увеличивать. Если интенсивность облучения, создаваемого лампой, снизилась более чем на 30%, лампу следует заменить новой.

Если при работе с лампами накаливания по условиям техники безопасности необходимо снимать напряжение, то при работе с облучательными установками следует соблюдать особые меры предосторожности: обязательно экранировать лампы, максимально сокращать облученность на уровнях до 2 м от пола; помещение периодически вентилировать для удаления озона и окислов азота; при обслуживании ламп облучения стремиться к тому, чтобы у обслуживающего было как можно меньше открытых частей тела; особо обращать внимание на защиту глаз (обязательно применять защитные очки из дымчатого стекла).

Люминесцентные лампы высокого давления имеют двойные колбы. При разрушении внешней колбы ультрафиолетовое излучение ламп увеличивается настолько, что становится опасным для человека.

§ 2. Эксплуатация электронагревательных установок

Электротепловые установки, применяемые в сельскохозяйственном производстве, весьма разнообразны по конструкции, и поэтому при их эксплуатации необходимо руководствоваться инструкциями, которые прилагаются заводами-изготовителями с технической документацией на установку. Например, в техническое обслуживание электродного проточного с замкнутым контуром электронагревателя типа ЭПЗ-100 входит проведение профилактического осмотра перед каждым отопительным сезоном, при этом делают следующее:

1) проверяют правильность показаний всех измерительных и регулирующих приборов;

2) проверяют состояние электроконтактных поверхностей, в случае необходимости их зачищают;

3) убеждаются в том, что траверса плавно перемещается по винту;

4) очищают от коррозии и накипи все металлические элементы электродной группы, если после очистки на стенке электродов или антиэлектродов обнаружатся сквозные отверстия, то эти элементы заменяют;

5) очищают от накипи и коррозии внутреннюю часть корпуса водонагревателя и промывают его;

б) осматривают резиновые прокладки и изоляторы и в случае необходимости заменяют их;

7) заменяют, если нужно, сальниковые уплотнения;

8) собирают водонагреватель и проверяют электрическое сопротивление изоляции «сухого» водонагревателя, оно не должно быть менее 220 кОм;

9) заполняют систему водой и убеждаются в отсутствии течи.

При эксплуатации электродных нагревателей могут появиться следующие неисправности:

а) не срабатывает автоматика (не отключается магнитный пускатель). Такое явление может быть из-за неправильного положения переключателя или тумблера (положение «ручное» вместо «автоматика») или система не нагревается до требуемой температуры. В этом случае можно уменьшить число радиаторов или расход воды через теплообменник, использовать электроды с большей активной поверхностью или при замкнутой системе слегка подсолить воду (из расчета не более 1 г соли на 20 л воды). Одной из причин отказа в работе нагревателя может быть выход из строя промежуточного реле;

б) система не нагревается вообще при включенном питании. Причиной этого может быть неполное заполнение системы водой или утечка воды;

в) не включается магнитный пускатель. Это может быть при отсутствии напряжения одной из фаз, в частности при перегорании одного из предохранителей и выходе из строя промежуточного реле;

г) отключается автомат, что происходит вследствие перегрузки его по току. При этом можно изменить уставку автомата, использовать электроды с меньшей активной поверхностью или в замкнутой системе использовать воду с большим удельным сопротивлением. В некоторых случаях автомат заменяют или при наличии рубильника и предохранителей можно подключить нагреватель непосредственно к магнитному пускателю.

д) появление воды на крышке водонагревателя из-под защитного кожуха или в разьеме между крышкой и корпусом, что является следствием ослабления затяжки болтов и гаек, а также износа прокладок и резиновых изоляторов;

е) значительное падение мощности водонагревателя и ухудшение нагрева системы, что происходит из-за износа электродов, отложения на них накипи и солей.

В сельском хозяйстве используются электродные водонагреватели типа ЭПЗ и КЭВ. Первые имеют ручное управление, основное условие их бесперебойной работы — отсутствие накипи на электродах, так как удалять ее очень трудно. Электродные водонагреватели типа КЭВ автоматизированы, их мощность колеблется в пределах от 100 до 10 000 кВт с регулированием ее от 20 до 100% номинальной. Пластинчатые электроды этих водонагревателей взаимозаменяемы, что облегчает их техническое обслуживание и ремонт.

Водонагревательные котлы типа ЭКВ-0,4 имеют в качестве нагревателей ТЭНы, их эксплуатация практически не отличается от технического обслуживания водонагревателей ВЭТ (см. ниже).

При эксплуатации электродных котлов необходимо соблюдать правила техники безопасности. Устанавливать котлы следует в отдельных помещениях — электрокотельных. Котлы напряжением до 1000 В можно устанавливать в производственных помещениях вместе с другим оборудованием. Трубопроводы тепловой сети необходимо заземлять не менее чем в двух точках, одна из которых должна быть в электрокотельной. Общее сопротивление заземления трубопроводов (без учета заземления в электрокотельной) должно быть не более 4 Ом. Корпус трехфазного электродного котла присоединяют к нулевому проводу четырехпроводной сети, который повторно заземляют на вводе в электрокотельную, согласно ПУЭ. Электродный котел необходимо защищать трехфазным автоматом, действующим на отключение при перегрузках и коротких замыканиях в цепях электродного котла. Рекомендуется выполнять защиту, действующую на отключение электродного котла при появлении в нулевом проводе тока, равного 25% номинального тока котла.

В сетях напряжением 380 В с глухозаземленной нейтралью, питающих животноводческие фермы, нужно применять только трехфазные электродные котлы с изолированным корпусом, не соединенным с нулевым проводом сети. Корпус котла ограждают специальным кожухом, который обязательно заземляют, присоединяя к нулевому проводу сети. Трубопроводы горячей и холодной воды присоединяют к корпусу котла через изолирующие вставки и заземляют, присоединяя к нулевому проводу сети. Сопротивление повторного заземления на вводе в животноводческую ферму должно быть не более 10 Ом.

Водонагреватели-термосы типа ВЭТ при длительном хранении увлажняются — влага из воздуха проникает внутрь трубчатых элементов. Нагреватели можно просушить, включая их все три последовательно в цепь напряжением 127 В на воздухе или 220 В в воде. Включение их на полное напряжение на воздухе быстро выводит их из строя.

Корпус водонагревателя должен быть надежно заземлен, сопротивление изоляции отдельного элемента хорошего качества должно быть не менее 15...20 МОм, общее — 0,5 МОм.

Причиной медленного нагрева воды может быть понижение напряжения сети, работа нагревателей на двух фазах, например при перегорании одного из элементов. Характер повреждения определяют при помощи вольтметра или контрольной лампы.

В последнее время взамен указанных нагревателей промышленность поставляет сельскому хозяйству водонагреватели типа УАП, УАП-200, УАП-400, УАП-800, УАП-1000. Они предназначены для подогрева воды при поливе растений в теплицах, парниках, на

фермах, в гаражах и для бытовых нужд. По своей конструкции они мало отличаются от нагревателей типа ВЭТ.

Для зон с низкой температурой промышленность выпускает электронагревательные установки для автопоилок ВЭП-600 с тиристорным управлением. По данным кафедры применения ЧИМЭСХ, при большой влажности среды, в которой работают эти нагреватели, влага, попадая на платы схемы управления, нарушает работу последней. Поэтому необходимо в шкафу управления создавать микроклимат при помощи обычной контрольной лампы. Кроме того, нередко плохо выполненное соединение насоса с электродвигателем приводит к быстрому износу сальника и попаданию влаги в электродвигатель. Рекомендуется просверлить отверстия в нижней части подшипникового щита, электродвигателя со стороны насоса. Это отверстие предназначено для отведения влаги от обмотки, поскольку, попадая в электродвигатель, влага сразу же стекает вниз. Появление капель из отверстия сигнализирует о разрушении сальника.

Для поения крупного рогатого скота в коровниках при беспривязном содержании промышленность поставляет групповые четырехместные автопоилки АТК-4 с электроподогревом воды. Нагревателями воды служат тепловые элементы (ТЭНы). Недостаток конструкции этих поилок — малая жесткость. В эксплуатации необходимо повышать их механическую прочность.

В отличие от водонагревателей воздухонагреватели более опасны в пожарном отношении. В сельском хозяйстве применяются электрокалориферы СФО и СФОА. Электрокалорифер СФО комплектуется на месте, а СФОА представляет собой агрегат, полностью скомплектованный на заводе-изготовителе. Эти калориферы имеют очень хорошую амортизационную способность, отлично сбалансированы и бесшумны в работе. Схема управления калориферной установкой должна исключать работу спиралей без обдува их воздухом. Один раз в месяц нагреватели нужно очищать от пыли и грязи.

§ 3. Особенности эксплуатации электрооборудования электроинно-ионной технологии

В последнее время все большее распространение получает электроинно-ионная технология — непосредственное использование электроэнергии в технологических процессах. Это использование электрического поля для очистки, сортировки и обеззараживания семян, аэроиннизации в животноводстве, обработки кормов, для расщепления почв и повышения их плодородия, для воздействия на растения, а также электрообработка металлов, электрогидравлический эффект, электроизгороди, магнитная обработка материалов и т. п. Электроустановки, применяемые для этих целей, оборудованы генерирующими устройствами, высоковольтными преобразователями, системами электродов и т. п.

Как правило, такие установки потребляют очень небольшую мощность, но напряжение их (например, электрозерноочистительных машин) достигает 50 кВ и выше. Поэтому при эксплуатации электрооборудования электронно-ионной технологии следует систематически контролировать правильность собранных схем, следить за исправностью работы защит и блокировок от случайного прикосновения к электрическим цепям, периодически проверять состояние заземления и отдельных элементов электрооборудования.

Для предотвращения выхода из строя электрооборудования машин необходимо обязательно проводить их сезонное обслуживание. В объем обслуживания входит: проверка механической части машины и устранение повреждений; внешний осмотр изоляторов и электродной системы и замена обнаруженных поврежденных элементов; проверка блока питания — трансформатора (в объеме контрольных испытаний) и выпрямительного устройства. При необходимости трансформатор сушат.

§ 4. Особенности эксплуатации электробытовой техники

В постановлении Совета Министров СССР от 4 июня 1974 г. «О мерах по улучшению организации ремонта бытовых машин и приборов, принадлежащих гражданам» особое внимание уделяется совершенствованию форм организации обслуживания населения по ремонту бытовой техники.

Постоянный рост благосостояния населения страны, в том числе и тружеников села, привел к тому, что практически в каждой семье имеются домашние холодильники, стиральные машины, электропылесосы, электрополотеры, электробритвы. Причем номенклатура бытовых машин и приборов, выпускаемых отечественной промышленностью, ежегодно увеличивается, а качество изделий неуклонно улучшается.

В последнее время ремонтные предприятия бытового обслуживания практикуют профилактическое обслуживание и ремонт бытовых машин, принадлежащих организациям (детские сады, больницы и т. д.) и населению на договорных началах и по абонементам. Планово-предупредительная система абонемента технического обслуживания и ремонта бытовых машин имеет профилактическую направленность, строится с учетом закономерностей изнашивания машин и представляет собой совокупность мероприятий по контролю, обслуживанию и ремонту. Она включает два вида мероприятий:

1) мероприятия, направленные на уменьшение интенсивности изнашивания деталей и на предупреждение неисправностей (регулирующие, смазочные работы и т. д.), а также на своевременное выявление неисправностей (осмотр и контроль состояний механизмов и узлов средствами и методами технической диагностики);

2) мероприятия, направленные на устранение неисправностей (замена узлов, деталей, их ремонт и т. д.).

Эта система включает в себя техническое обслуживание, периодические технические осмотры, диагностику и ремонты.

Возможность применения плано-предупредительной системы абонементного технического обслуживания и ремонта определяется зависимостью

$$N = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{T_n}{t_i} n_i,$$

где N — число конструктивных элементов, замещенных за ремонтный цикл; T_n — продолжительность работы бытовой машины между двумя наиболее сложными ремонтами — ремонтный цикл; t_i — средний срок службы деталей данной группы до замены; n_i — число деталей со средним сроком службы.

График ремонтного цикла будет построен рационально, если величины $P_c = \frac{T_n}{t_i}$ будут кратными между собой и равны целому циклу.

Величина P_c называется коэффициентом сменности и показывает, во сколько раз срок службы деталей данной группы меньше срока службы до очередного, наиболее сложного ремонта, и определяет характер мероприятий абонементного технического обслуживания и ремонтов, а также структуру ремонтного цикла.

Современные бытовые машины состоят из большого числа деталей, сроки службы которых значительно отличаются друг от друга. Это приводит к тому, что при очередном ремонте часто еще годные детали заменяют полностью, не исчерпывая ресурса их работоспособности. Однако преимущество плано-предупредительной системы при абонементном техническом обслуживании — ее экономическая эффективность — значительно превышает убытки, связанные с преждевременной заменой деталей. Кроме того, при надлежащей эксплуатации всегда есть возможность увеличить продолжительность работы бытовой машины до очередного ремонта, то есть полностью использовать ее ресурс.

Для бытовых машин характерна трудоемкость разборки и сборки их. Любая разборка и сборка машины связана с нарушением взаимной приработанности сопрягаемых деталей, что ведет к сокращению их срока службы. Поэтому диагностику бытовых машин обычно проводят без разборки. Наиболее распространена акустическая диагностика с применением шумомеров и различного типа частотных анализаторов.

Основные неисправности в холодильниках следующие: недопустимый нагрев обмоток (при резких колебаниях напряжения сети); повышенный шум и вибрация (из-за неправильной регулировки болтов подвески и размещения трубопроводов); ухудшение изоляции проводки; ослабление силовой пружины терморегулятора из-за длительной работы; другие неисправности из-за неправильного

обращения с холодильником (размещение возле отопительных устройств, установка в камере горячей пищи, жидкости в открытой посуде, ненадотное закрывание двери, установка холодильника не по уровню и т. д.).

В стиральных машинах, несмотря на большое их разнообразие, основные элементы подобны, и в них наиболее часто встречаются следующие неисправности: недопустимый нагрев пусковой или рабочей обмоток электродвигателя (резкие колебания напряжения сети); электродвигатель гудит, но не вращается (выход из строя теплового реле, реле времени, пускозащитного реле, микропереключателя, пакетного выключателя для полуавтоматических стиральных машин — конденсатора); срабатывает тепловое реле и электродвигатель отключается от сети (перегрузка машины бельем); машина рвет белье, из-под машины вытекает жидкость (повреждение активатора: значительный зазор в опоре, зазор между активатором и баком, прогнута диск или ось активатора и его сальника); электродвигатель гудит, но не вращается или вращается электродвигатель, а активатор неподвижен (излишняя затяжка или ослабление натяжения ремня привода активатора); течет раствор в местах повреждения (износ уплотнений и диафрагмы).

Электропылесосы также разнообразны по конструкции, но в них наиболее распространенные неисправности, при которых пылесос не работает или работает с перебоями, следующие: дефекты в контактных соединениях, шнурах, выключателях; износ щеток или неплотное их прилегание к коллектору электродвигателя, загрязнение или износ коллектора; повреждения в цепях обмотки якоря (замыкания в обмотке или между ламелями, обрывы); повреждения (замыкания и обрывы) в обмотке статора; повреждения конденсаторов, подшипников и уплотнений.

Аналогичные повреждения присущи и электрополотерам, которые по конструкции подобны электропылесосам. Дополнительно к перечисленным выше появляются также неисправности натирочных щеток.

Глава VII

ЭКСПЛУАТАЦИЯ АППАРАТУРЫ ЗАЩИТЫ И УПРАВЛЕНИЯ

§ 1. Общие положения

Аппаратура защиты и управления, применяемая в сельском хозяйстве, чаще всего проста по конструкции, но однако недостаточно надежна в тяжелых условиях сельскохозяйственного производства.

Для повышения эксплуатационной надежности аппаратуры необходимо прежде всего плановое техническое обслуживание ее в период эксплуатации. Это обслуживание очень несложно по технологии и не требует особых затрат. Так, у рубильников, длительное время находившихся в неподвижном состоянии, на шарнирных соединениях появляется пленка окиси. Для очистки рубильника от

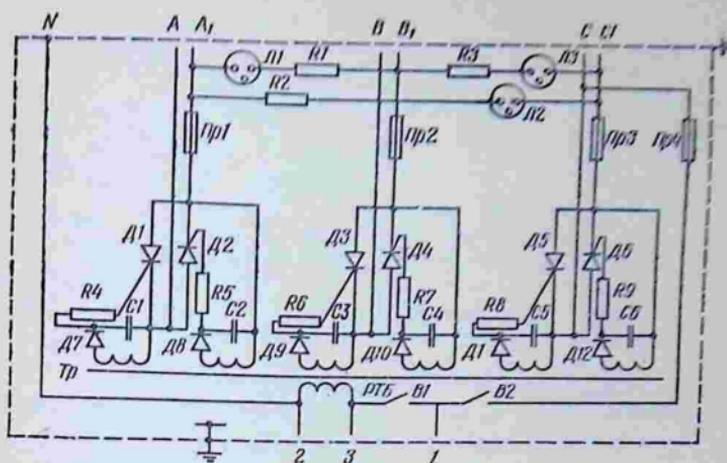


Рис. 66. Схема силового блока СБ-160.

пленки достаточно только несколько раз включить и выключить его. Пакетные выключатели, как правило, осматривают, очищают от пыли и грязи, проверяют надежность их включения и выключения, а также степень нагрева на ощупь.

В магнитных пускателях проверяют наличие тепловой защиты и ее соответствие мощности и типу токоприемника. В контактах и магнитных пускателях после их отключения не должно быть гула, который свидетельствует о неисправном состоянии магнитной системы. Изоляцию и контакты аппаратуры осматривают и делают необходимые измерения.

В настоящее время в сельскохозяйственном производстве находит применение полупроводниковая аппаратура защиты и управления. На смену магнитным пускателям приходят тиристорные пускатели — например силовой блок СБ-160 (рис. 66). Он предназначен для двухпозиционной ручной и автоматической бесконтактной коммутации силовой трехфазной сети на активную или активно-индуктивную нагрузку. В качестве силовых элементов, осуществляющих коммутацию тока через нагрузку, применяются кремниевые управляемые вентили — тиристоры Д1...Д6, включаемые встречно-параллельно.

Пары тиристоров защищены в каждой фазе от перегрузок и коротких замыканий предохранителями Пр1, Пр2 с плавкими вставками. Работой каждого тиристора управляет соответствующий однопериодный выпрямитель диод Д7...Д12 со сглаживающей емкостью С1...С6 через резистор R4...R9. Каждый диод Д7...Д12 питается от одной из шести вторичных обмоток трансформатора Тр, первичная обмотка которого включена на фазное напряжение через тумблеры В1, В2 и предохранитель Пр4. Для сигнализации о работе блока служат неоновые лампы Л1...Л3. При выключенной

нагрузке (тиристоры не проводят ток) лампы не горят, а при включении нагрузки загораются. Блок допускает практически неограниченное число включений и отключений.

При помощи блока можно управлять любым устройством (регулятором), например однофазным приемником; в этом случае элемент управления подсоединяют к клеммам 1 и 3, цепь между которыми он должен коммутировать.

Техническое обслуживание полупроводниковой аппаратуры защиты и управления практически заключается в периодическом внешнем осмотре, а ее ремонт проводится в специализированных мастерских. Недостаток этой аппаратуры — ее высокая стоимость.

§ 2. Испытание и наладка аппаратуры управления, защиты и устройств автоматики

Техническое обслуживание средств и систем управления, защиты и автоматики включает в себя повседневное обслуживание, профилактические осмотры, проверку контрольно-измерительных приборов и аппаратуры, ремонт их и наладку. При этом нужно иметь в виду, что наряду с профилактическим обслуживанием, ремонтом и наладкой контрольно-измерительные приборы требуют проверки как после ремонта, так и в установленные сроки.

Много общих операций выполняют при испытаниях, наладке и обслуживании магнитных пускателей, контакторов постоянного и переменного тока, реле. Эти аппараты прежде всего осматривают, проверяют соответствие аппарата проекту, состояние главных и блокировочных контактов и их пружины, подшипников и гибких соединений, деталей магнитной системы, дугогасительных камер, крепежных болтов, гаек, шайб. Сопротивление изоляции катушек и контактов не нормируется, но практически считают допустимой изоляцию с сопротивлением не ниже 1 МОм. Электрическую прочность аппаратов испытывают синусоидальным напряжением в 1 кВ в течение 1 мин. В процессе испытаний измеряют сопротивление катушек постоянному току. Катушку следует считать пригодной, если ее сопротивление отличается от номинального не более чем на $-10...+15\%$. Аппараты подвергают механической регулировке, которая заключается в проверке нажатий контактов, их растворов и провалов, в затяжке болтов, гаек и винтов. Поврежденные детали обычно заменяют новыми.

Техническое обслуживание различных устройств неодинаково по объему. Обслуживание простейшего элемента различных схем — диодов начинается с проверки, причем такую проверку осуществляют перед монтажом и после ремонта при наладке, поскольку в каждой партии даже новых диодов могут оказаться дефектные, с перегоревшими $p-n$ переходами, внутренними обрывами, коротким замыканием, непостоянным (плывущим) обратным сопротивлением.

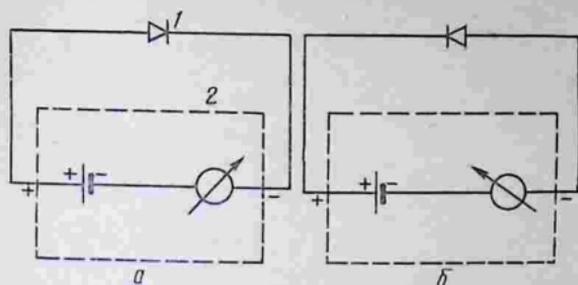


Рис. 67. Схемы проверки диодов:
а — измерение прямого сопротивления; *б* — измерение обратного сопротивления; *1* — испытуемый диод; *2* — омметр.

Диоды проверяют при помощи омметра или других приборов с омической шкалой, например приборов Ц-315, Ц-20 с классом точности не ниже 1,5.

Схема проверки диодов показана на рисунке 67.

При проверке диодов измеряют их прямое и обратное сопротивление. У плоскостных диодов значение прямого сопротивления составляет 20...50 Ом, однако необходимо учесть, что из-за нелинейности вольт-амперной характеристики диодов результаты измерения зависят от способа измерения.

Диоды, применяемые в цепях переменного тока 220 В и выше, дополнительно испытывают на пробой в запирающем слое *p-n* наибольшим нормируемым техническими условиями обратным напряжением при рекомендуемой нагрузке.

Иногда для повышения допустимого обратного напряжения диоды соединяют последовательно. При этом каждый диод обязательно шунтируют сопротивлением 100 кОм на каждые 100 В напряжения, чтобы напряжение на диодах было примерно одинаковое. Такое шунтирование необходимо из-за больших разбросов обратных сопротивлений диодов. Надежность работы диода можно значительно повысить, шунтируя его демпфирующим резистором мощностью 2 Вт и сопротивлением 10...30 кОм. Этот резистор будет сглаживать большие броски тока, возникающие в момент включения и отключения аппаратуры.

Профилактическое обслуживание терморезисторов заключается в периодическом их осмотре, очистке от грязи и различных корковых образований, проверке соединительных проводов и защитных оболочек. Основной вид ремонта полупроводниковых приборов в обычном их исполнении — это замена вышедшего из строя чувствительного элемента новым, а при необходимости восстановление герметичности защитных оболочек, устранение неисправностей клеммной головки и зажимов.

Перед проверкой терморезисторов измеряют сопротивление их изоляции относительно корпуса мегомметром на напряжение 500 В. Сопротивление их изоляции должно быть не менее 20 МОм. При

помощи моста измеряют также сопротивление их чувствительных элементов и сравнивают с табличными значениями.

Аналогичным образом проводят техническое обслуживание ремонт термомпар. Испытание термомпар сводится к проверке соответствия градуировочной характеристики испытываемой термомпар стандартной (эталонной).

В объем технического обслуживания логометра входят периодический осмотр, очистка от пыли, проверка надежности крепления соединительных проводов и проверка его показаний при подключении на контрольный терморезистор. Сопротивление изоляции логометра при 20°C (293К) и 80% относительной влажности воздуха должно быть не ниже 40 МОм.

Техническое обслуживание мостовых схем измерения различных параметров (например, температуры) заключается в периодическом осмотре приборов, очистке от пыли наружных поверхностей, смазке подвижных узлов и деталей, регулировке чувствительности электронного усилителя, чистке реохорды, заправке самопишущих приборов диаграммной бумагой.

Несмотря на большое разнообразие систем управления, защиты и автоматики, описанные наиболее распространенные приемы и методы их профилактического обслуживания, ремонта и наладки практически одинаковы для всех систем.

§ 3. Особенности эксплуатации станций управления погружными насосами*

Погружные электронасосы поставляют в комплекте со станциями автоматического управления и защиты. Станция управления совместно с датчиком уровня воды в баке водонапорной башни и датчиком сухого хода предназначена для автоматического и местного управления погружными электронасосами и для защиты погружного электродвигателя от аварийных режимов работы — от токов короткого замыкания, перегрузок, потери фазы обмотки двигателя, от короткого замыкания цепи управления, от понижения динамического уровня воды в скважине.

В сельскохозяйственном производстве используются станции управления типа ПЭТ, ШЭТ и ШЭП, намечается выпускать в ближайшее время унифицированные станции управления, предназначенные для систем водоснабжения, вертикального дренажа и плавного пуска погружного электронасоса.

Наиболее распространены станции типа ПЭТ. С 1959 г. промышленность освоила выпуск станций управления серии ПЭТ-5100 в двухсхемных модификациях для управления работой электронасосов с электродвигателями мощностью до 12 и до 65 кВт. В сельскохозяйственном производстве в основном применяются погружные электронасосы первой модификации. Данные по комплектованию

* Параграф написан канд. техн. наук доцентом ЧИМЭСХ О. Г. Мамедовым.

нию станций управления двигателями и насосами приведены в таблице 26.

Станция управления ПЭТ представляет собой специальный шкаф защищенного исполнения, в котором смонтированы пускозащитная аппаратура, приборы и аппаратура управления. Шкаф крепят к вертикальной стене четырьмя болтами, кабели питания вводят через отверстия в нижней части шкафа.

Для подготовки насосного агрегата к автоматическому пуску на станции управления включают автомат. Загоревшаяся зеленая лампа сигнализирует о наличии напряжения на станции управления. Затем универсальный переключатель ставят в положение «Автоматическое», через контакт подается напряжение на катушку

Таблица 26

Тип станции управления	Электродвигатель			Тип насоса
	тип	мощность, кВт	ток, А	
ПЭТ5101-03Ж2М	ПЭДВ 2,8-140	2,8	7	ЭЦВ6-4-90
ПЭТ5101-0332М	ПЭДВ 4,5-140	4,5	10,5	ЭЦВ6-6,3-60
ПЭТ5101-03Л2М	ПЭДВ 5,5-140	5,5	13	1ЭЦВ6-10-110
ПЭТ5101-03М2М	ПЭДВ 8-140	8,0	18,5	1ЭЦВ6-10-140
ПЭТ5102-13А2М	ПЭДВ 11-180	11	25	ЭЦВ8-25-100
ПЭТ5102-13Б2М	ПЭДВ 16-180	16	36	ЭЦВ8-25-150

магнитного пускателя. При этом магнитный пускатель срабатывает и включает электродвигатель. Если горит красная лампа, то электронасос включен. Вода из скважины начинает поступать в водонапорную башню.

В зависимости от уровня воды в баке замыкаются верхние или размыкаются нижние контакты датчика уровня, в результате электродвигатель насоса автоматически отключается от сети или включается в работу.

Подготовку станции к пуску при ручном управлении выполняют так же, как и при автоматическом, только универсальный переключатель ставят в положение «Ручное». Для остановки насосного агрегата универсальный переключатель ставят в положение «0», магнитный пускатель при этом теряет питание, и двигатель останавливается.

Станция управления должна отключать электронасос при перегрузках согласно таблице 27.

После окончания монтажа электронасоса в скважине его подключают к питающей сети через станцию управления. При монтаже станций управления и защиты необходимо учитывать, что станция управления предназначена для работы в помещении при температуре от -40 до $+40^{\circ}\text{C}$ ($233\text{...}313\text{K}$) и относительной влажности более 50% при 40°C (313K). Категорически запрещается уста-

Тип станции управления	Ток нагрузки (А), при котором защита срабатывает в течение			
	не более 30 мин	не более 3 мин	1,5...10 с	без выдержки времени
ПЭТ5101-03Ж2М	10,8	16	48	64...96
ПЭТ5101-03З2М	13,5	20	60	64...96
ПЭТ5101-03Л2М	16,2	24	72	102,4...153,6
ПЭТ5101-03М2М	18,9	28	84	102,4...153,6
ПЭТ5101-03О2М	27,0	40	120	160...240
ПЭТ5102-13А2М	33,8	50	150	160...240
ПЭТ5102-13Б2М	40,5	60	180	256...284

навливать станцию вне помещения, а также в среде взрывоопасной, насыщенной газами, парами и токопроводящей пылью.

При монтаже станции необходимо руководствоваться монтажной схемой и схемой внешних соединений.

При эксплуатационном обслуживании станции управления серии ПЭТ выполняют следующее:

— осматривают, чистят, подтягивают и заменяют элементы станции (при снятом напряжении);

— следят за плотностью затяжки винтов и гаек;

— осматривают станцию не реже одного раза в месяц и особенно тщательно перед каждым пуском после длительного перерыва в работе; при этом особое внимание обращают на части пускателя, расположенные под главными контактами, а также на скопление металлической пыли от износа контактов, которое может значительно понизить сопротивление изоляции пускателя;

— при загрязнении осей и втулок их протирают бензином и вытирают насухо (смазывать оси и втулки подвижных частей не рекомендуется);

— два раза в год перед летним и зимним сезонами проводят профилактический осмотр датчика уровней и чистят его;

— при систематической работе станции управления один раз в месяц контролируют соответствие состояния контактов пускателя и реле данным заводоизготовителей.

Предохранители в станции управления можно заменять только после отключения автомата АП-50.

Неисправности элементов станции управления серии ПЭТ, которые могут возникнуть во время ее эксплуатации, приведены в таблице 28.

К недостаткам станции управления типа ПЭТ относятся следующие:

— изменение защитных характеристик при отклонении температуры, на которую настроены тепловые реле;

— тепловые реле недостаточно эффективно защищают электро-

Основные неисправности в станциях управления серии ПЭТ	Причины неисправностей и способы их устранения
При включении срабатывает тепловая защита	Оплавились или подгорели контакты автомата. Снять напряжение системы, разобрав автомат, контакты зачистить
При коротком замыкании не срабатывает автомат	Отрегулировать автомат или заменить его другим с проверенным электромагнитным расцепителем
Магнитный пускатель не включается	Убедиться в наличии напряжения в системе и в отсутствии заедания в подвижной части, проверить исправность контактов и катушки. Обнаруженные дефекты устранить
Пускатель сильно гудит	Низкое напряжение (менее 0,85% U_n) сети, перекос сердечников, чрезмерное нажатие пружин, загрязнение или повреждение рабочих поверхностей полюсов. Устранить причину
При ручном управлении пускатель не отключается	По схеме проверить контакты в силовой цепи и цепи управления, убедиться в отсутствии заедания подвижной системы и наличии и исправности возвратных пружин
Станция управления не отключает электродвигатель при аварийных режимах	Температура окружающей среды понижена относительно отрегулированной тепловой защиты. Отрегулировать элементы тепловой защиты пускателя и автомата
Станция управления отключает двигатель при номинальном токе	Повышена температура окружающего воздуха. Отрегулировать элементы тепловой защиты
Станция управления не отключает электронасос при достижении верхнего уровня воды в баке	Нарушена цепь контакта верхнего уровня датчика, вышло из строя добавочное сопротивление в цепи реле уровней, вышел из строя выпрямитель, перегорела катушка реле уровней. Устранить причину
Станция управления не включает электродвигатель при достижении нижнего уровня воды в баке	Оборвалась цепь между контактами верхнего и нижнего уровней, появилась ржавчина и грязь. Устранить причину
Не загораются одна или обе сигнальные лампы	Подгорели или загрязнились блок-контакты пускателя; подгорели контакты реле РП-25; вышло из строя сопротивление, перегорела сигнальная лампа. Устранить причину
Станция управления не включается в работу	Перегорели предохранители, подгорели или загрязнились контакты универсального переключателя. Устранить причину.

двигатели от перегрузок при обрыве одной из фаз и коротких замыканиях в обмотках статора;

— продолжительность срабатывания защиты при перегрузке электродвигателя, как видно из таблицы 27, достигает 30 мин, что

не отвечает требованиям нормальной работы погружного электродвигателя;

— при эксплуатации в неотапливаемых помещениях реле работают ненадежно;

— конструкция датчика уровня воды громоздкая.

С 1969 г. в стране выпускаются бесконтактные системы управления САУНА (система автоматического управления насосным агрегатом) для дистанционного управления скважинными насосами с погружными электродвигателями водоподъема и вертикального дренажа мощностью от 1 до 65 кВт. В эту систему входит станция управления типа ШЭТ-5800, датчик уровня и датчик сухого хода. Система предназначена для работы от сети переменного тока с глухозаземленной нейтралью при напряжении 380/220 В, частоте 50 Гц в сухих помещениях, где соблюдены следующие условия:

— климатическое исполнение и категории размещения У2, согласно ГОСТ 15150—69 и ГОСТ 15543—70;

— температура окружающего воздуха от -40°C (233К) (без выпадения росы и инея) до $+40^{\circ}\text{C}$ (313К), относительная влажность окружающего воздуха не более 80% при 20°C (293К);

— высота над уровнем моря не более 1000 м;

— окружающая среда — невзрывоопасная, не содержащая агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металлы и изоляцию;

— отсутствие резких толчков и сильной тряски;

— рабочее положение в пространстве — вертикальное.

Станция управления типа ШЭТ выполнена в виде шкафа с дверью, запирающейся на замок. Ее можно навешивать на стену или устанавливать на фундаменте. Внутри шкафа смонтированы пусковая и защитная аппаратура — силовая и логическая части станции. На дверь выведены сигнальная лампа аварийного отключения, приборы и аппаратура управления. Логическая часть станции представляет собой блок логики. Электрическая связь блока логики с основной частью схемы осуществляется при помощи штепсельных разъемов.

Питание датчиков уровня воды и сухого хода переменным напряжением 24 В осуществляется от станции управления.

В качестве аппаратуры управления и защиты используют бесконтактные транзисторные логические функциональные элементы унифицированной серии «Логика». Внутри блока логики размещают блок питания логических элементов, согласующие трансформаторы, со вторичных обмоток которых снимается пропорциональное току главной цепи напряжение и подается на логические элементы.

Станция управления обеспечивает защиту электродвигателя от перегрузок, обрыва одной из фаз, от симметричных и несимметричных коротких замыканий, от утечки воды из скважины.

Основные защитные и технические характеристики станции управления приведены в таблицах 29 и 30.

Электродвигатель станций управления ШЭТ		Ток нагрузки (А), при котором защита срабатывает			
Мощность, кВт	Номинальный ток, А	в течение, с			без выдержки времени
		10...35	5...25	1...3,5	
11	25	30	50	146	170...330
16	36	43,2	72	210	280...520
22	48	57,6	96	290	350...650
32	69	82,8	138	460	510...700
45	94	112,8	188	585	700...1000
65	130	156	260	1080	1150...1600

Таблица 30

Тип системы управления	Тип станции управления	Электродвигатель			Тип насоса
		Тип	Номинальная мощность, кВт	Номинальный ток, А	
САУНА-2,8-1	ШЭТ5801-03А2А	ПЭДВ-2,8-140	2,8	7	ЭЦВ6-10-50
САУНА-4,5-1	ШЭТ5801-03А2Б	ПЭДВ-4,5-140	4,5	10,5	ЭЦВ6-10-80
САУНА-5,5-1	ШЭТ5801-03А2В	ПЭДВ-5,5-140	5,5	13	ЭЦВ6-16-75
САУНА-8-1	ШЭТ5801-03Б2Г	ПЭДВ-8-140	8	18,5	ЭЦВ6-10-140
САУНА-11-1	ШЭТ5801-03Б2Д	ПЭДВ-11-140	11	25	ЭЦВ8-25-100
САУНА-16-1	ШЭТ5801-13А2А	ПЭДВ-16-180	16	36	ЭЦВ8-25-160
САУНА-32-1	ШЭТ5802-23А2Б	ПЭДВ-32-230	32	67	ЭЦВ10-120-60
САУНА-65-1	ШЭТ5802-33А2А	ПЭДВ-65-270	65	130	ЭЦВ12-160-65

Станция управления ШЭТ5802 предупреждает резкое падение напряжения сети, питающей несколько электродвигателей, путем поочередного запуска их в режим автоматического управления (через 1...2 с). Автоматический селективный запуск каждой станции регулируют потенциометром «Время пуска», ось которого выведена на лицевую сторону блока логики.

Для работы станции управления необходимо включить автоматический выключатель, подав напряжение на блок питания логических элементов.

При автоматическом управлении тумблер «Режим работы» устанавливаются в положение «Авт.». Автоматическое управление электронасосом водоподъема осуществляется в зависимости от уровня воды в баке водоапорной башни.

Во время эксплуатации систем управления САУНА рекомендуют выполнять следующие основные работы:

— осматривать системы управления и устранять выявленные неисправности не реже одного раза в месяц. При этом следует проверить состояние контактов пускателя, реле, автоматического вы-

ключателя, затяжку болтов и гаек. Рекомендуется особенно тщательно проверять состояние этих элементов перед каждым пуском после длительной остановки;

— при непрерывной работе систем управления один раз в месяц контролировать состояние контактов контактора и затяжку его болтов и гаек;

— один раз в шесть месяцев снимать крышку автоматического выключателя, очищать выключатель от копоти и частиц металла, проверять затяжку винтов, целостность пружин и состояние контактов;

— два раза в год, перед зимним и летним сезоном, проводить профилактический осмотр и чистку датчика уровней для систем водоподъема.

Блок логики станций управления серии ШЭТ опломбирован заводами-изготовителями и ремонту в местных условиях не подлежит.

Одновременно со станциями серии ШЭТ с 1975 г. начал выпуск станций управления серии ШЭП. Они спроектированы без логических элементов на базе новейшей транзисторной техники, их блок выполнен на малогабаритной печатной плате. Станция управления типа ШЭП имеет такие же защитные характеристики, что и станция ШЭТ, но меньшие габарит и массу.

Основные недостатки этих станций управления:

- неремонтопригодность блока управления и защиты;
- ненадежность работы датчика уровня в зимнее время;
- необходимость высококвалифицированного обслуживания;
- высокая стоимость — в 1,5...2 раза выше контактных систем управления.

Основные неисправности, их причины и способы устранения элементов (кроме блока логики) станций управления серий ШЭТ ШЭП такие же, как у станций управления типа ПЭТ.

Для станций типа ШЭТ характерны следующие неисправности:

1) обгорание поверхности контактов автоматического выключателя при коротких замыканиях и других аварийных режимах работы электронасоса, при этом контакты оплавляются и прилипают друг к другу. Выгорание контактов может привести к неполнофазному режиму работы электронасоса. Только по этой причине ежегодно 15% станций управления и защиты выходят из строя;

2) обгорание зажимов первичной обмотки трансформатора тока, переход погружного двигателя на неполнофазный режим прекращения подачи сигналов к блоку логики. Обгорание происходит в местах соединения первичной обмотки (алюминий) трансформатора тока с токопроводящими шинами (медь). Основная причина обгорания этих мест — соединение разнородных металлов (алюминий и медь).

При монтаже и эксплуатации станций управления и защиты погружных электронасосов необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

- корпуса станции управления, датчика уровней, обсадных

труба и стальной корпус бака должны быть присоединены к нулевому проводу и заземлены;

— уход за системой бесконтактного управления системы САУНА можно поручать только обученному персоналу, знания которого в области обслуживания электроустановок напряжением до 1000 В проверены и засвидетельствованы;

— осмотр, чистку, подтяжку и замену элементов станции можно выполнять при снятом напряжении, для чего необходимо выключить автомат;

— категорически запрещается снимать крышку автоматического выключателя при наличии напряжения на вводе в станцию управления;

— дверь станции должна быть всегда закрытой. Открывать ее разрешается только после отключения станции автоматом;

— при любых работах с датчиком уровней с него должно быть предварительно снято напряжение. Категорически запрещается подниматься на башню при включенном питании датчика уровней;

— при эксплуатации станций управления следует руководствоваться правилами технической эксплуатации и техники безопасности электроустановок напряжением до 1000 В.

§ 4. Повышение эксплуатационной надежности аппаратуры защиты и управления

Наиболее тяжелые условия работы аппаратуры наблюдаются в животноводстве, на обычных товарных фермах, где очень велика влажность и агрессивность среды и электрооборудование эксплуатируется в кратковременном режиме работы. Аппаратура выходит из строя вследствие значительной коррозии черных и цветных металлов (неподвижные и подвижные контакты, сердечники, кожухи) и разрушения изоляции.

Из аппаратов, используемых в настоящее время в сельском хозяйстве, наиболее распространен магнитный пускатель.

Анализ состояния 100 магнитных пускателей, проработавших только один стойловый период, показал, что значительная коррозия, препятствующая дальнейшей их эксплуатации, наблюдалась в следующих элементах пускателей.

Число элементов пускателя

Защитный кожух	66
Конструктивные детали (стойки, оси, пружины и др.)	63
Крепежные болты	42
Контактные болты	31
Токоведущие части (контакты, шты, панели)	10
Магнитопровод	1

Основные меры по повышению эксплуатационной надежности электроаппаратуры в сельском хозяйстве (кроме планового технического обслуживания) таковы:

1) вынос аппаратуры за пределы животноводческих ферм и специально пристроенные помещения. Однако такое размещение аппаратуры требует чрезвычайно большого увеличения числа приводов и усложняет управление приводами;

2) создание микроклимата в шкафах управления. Опыт показывает, что наличие небольшой контрольной лампы в шкафу управления, сигнализирующей наличие напряжения в питающей сети уже достаточно для того, чтобы в шкафу постоянно поддерживалась температура несколько выше температуры окружающей среды. При наличии такого положительного термоградиента (достаточно иметь перепад температур всего около 10°) ни влага, ни агрессивные агенты среды не могут поступать в аппаратуру управления и она хорошо сохраняется. Лампа, неправильно выбранная по мощности, перегревает воздух внутри шкафа;

3) создание герметизированных шкафов управления. Промышленность уже выпускает такие шкафы для сельского хозяйства, но, к сожалению, только пока в ограниченных количествах. Кроме того стоимость таких шкафов дороже шкафов обычного исполнения;

4) применение летучих ингибиторов для защиты аппаратуры от коррозии и замедления процесса старения изоляции. Этот способ чрезвычайно прост и может быть использован в любом хозяйстве при наличии в нем агрохимической лаборатории или химического кабинета в средней школе. Сущность предлагаемого способа заключается в том, что, находясь в определенном объеме, летучий ингибитор, испаряясь, адсорбируется на поверхностях, с которыми он соприкасается, и создает на них самосорбционную (защитную) пленку.

Важно получить универсальный ингибитор, который защищал бы как черные, так и цветные металлы, а также был пассивен к изоляции аппаратов.

В результате проведенных исследований оказалось, что им может быть хроматный ингибитор, 1 л которого готовят следующим образом. 100 г бензотриазола растворяют в 250 мл ацетона и добавляют 10 мл дистиллированной воды. Взвешивают 100 г хромата аммония и небольшими порциями, перемешивая, растворяют в 440 мл 4,6%-ного раствора гидрата окиси метилтриэтиламмония.

При отсутствии гидрата окиси метилтриэтиламмония его можно заменить любым другим четвертичным аммониевым основанием. Полученный раствор сливают с ранее приготовленным раствором бензотриазола и хорошо перемешивают. В полученную смесь добавляют 10 г аммониевой соли синтетических жирных кислот, снова перемешивают смеси до образования пены и сливают в емкость с плотно закрывающейся крышкой.

Вместо хроматного ингибитора можно применить ингибитор на основе диэтиланилина, 1 л которого готовят следующим образом. 100 г бензотриазола растворяют в 250 г ацетона, взвешивают 10 г п-нитрофенола и смешивают с ранее полученным раство-

ром, в который затем вливают 10 мл диэтиланилина, добавляют 630 мл дистиллированной воды, тщательно перемешивают и заливают в емкость с притертой пробкой.

Затем готовят защитный элемент. Для этого при помощи ватного тампона или губки ингибитора в количестве 250...300 мл наносят на электрокартон марки ЭМ площадью 1 м², после чего картон сушат в течение 5...6 ч при комнатной температуре. Вырезают кусок картона размером, соответствующим размеру крышки аппарата, и накладывают на ее внутреннюю сторону. Аппарат с защитным элементом до установки на рабочее место в течение суток выдерживают в помещении при температуре не ниже 15°C (288K) и относительной влажности не выше 70%.

Готовый защитный элемент при использовании его в аппарате должен храниться обернутым в полиэтиленовую пленку или целлофановую бумагу не более 3 месяцев.

При работе с ингибитором нужно соблюдать технику безопасности, в частности работать в резиновых перчатках, а при попадании раствора ингибитора на открытые части тела немедленно смыть его теплой водой с мылом.

Опыт применения описанного ингибитора показал, что срок службы аппаратов в тяжелых условиях животноводческих ферм повышается в несколько раз (3...4). При его применении практически отсутствует коррозия на элементах аппарата. За счет образования защитной пленки ингибитора на поверхности изоляционных конструкций на них замедляется образование микротрещин, что в какой-то степени стабилизирует сопротивление изоляции. Это явление подтверждено при лабораторных исследованиях и опытной эксплуатации аппаратов. Важно, что стоимость ингибитора очень незначительна (около 10 коп. на защитный аппарат) и он удобен для применения как при ремонте аппаратуры, так и при ее эксплуатации. Периодически защитный элемент можно заменять новым, что продлевает срок службы защищаемой ингибитором аппаратуры.

Полезно применять ингибиторы при окраске электрооборудования и оборудования вообще, работающего в агрессивной среде животноводческих ферм. Для этой цели используют ингибитор, состоящий из бензоата аммония, уротропина и основной углекислой соли в равных отношениях. Смесь компонентов тщательно растирают в фарфоровой ступке до пылевидного состояния, после чего ингибитор готов к употреблению.

Продолжительность хранения ингибитора неограниченна, если он находится в плотно закрывающейся посуде. Непосредственно перед окраской поверхности ингибитор вносят в краску в количестве 1...3% ее массы.

Для окраски рекомендуется также применять перхлорвиниловые эмали.

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

§ 1. Руководство и управление сельской электрификацией*

Сельская электрификация прошла сложный путь совершенствования и в настоящее время сложилась как очень важная самостоятельная отрасль народного хозяйства страны. К решению задачи сельской электрификации привлечен ряд министерств и ведомств страны, в том числе Министерство энергетики и электрификации СССР, Министерство сельского хозяйства СССР, Министерство электротехнической промышленности, Государственный комитет СССР по производственно-техническому обеспечению сельского хозяйства (Госкомсельхозтехника СССР) и другие.

Придавая большое значение электрификации сельского хозяйства как важнейшему средству научно-технического прогресса, ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли в 1979 г. постановление «О мерах по дальнейшему развитию электрификации сельского хозяйства», которым уточнены функции министерств и ведомств СССР в осуществлении работ по электрификации сельского хозяйства.

Минэнерго СССР обеспечивает электроснабжение потребителей сельского хозяйства от электрических сетей государственных энергосистем и электростанций и осуществляет с помощью своих структурных подразделений следующие виды работ:

проектирование сельских линий электропередачи напряжением 0,4...110 кВ и соответствующих трансформаторных подстанций выполняют институт «Сельэнергопроект» и его местные филиалы;

строительство сельских электрических линий электропередачи и трансформаторных подстанций осуществляют главные управления «Главсельэлектросетьстрой» и подведомственные им в областях и краях специализированные тресты и мехколхозы по электросетевому строительству «Сельэлектросетьстрой»;

эксплуатацию сельских линий электропередачи, трансформаторных подстанций и низковольтных электрических сетей (до 10 кВ) осуществляют главные эксплуатационные управления и подведомственные им районные энергетические управления (РЭУ), в составе которых имеются эксплуатационные предприятия электрических сетей (ПЭС), а в районах — районные эксплуатационные сетевые участки (РЭС).

Государственный надзор за техническим состоянием сельских электростанций, электрических и теплонепользующих установок и контроль за рациональным и экономным использованием электрической и тепловой энергии в сельском хозяйстве осуществляет Го-

* Параграф написан заместителем начальника Главного управления механизации и электрификации сельского хозяйства МСХ СССР М. П. Хариним.

сударственная инспекция по энергонадзору (Госэнергонадзор) Министерства энергетики и электрификации СССР. В состав инспекции входят управления (отделы) по энергонадзору министерств (главных управлений) энергетики и электрификации союзных республик и предприятия по сбыту энергии и контролю за ее использованием (энергосбыты в краях и областях).

Все работы по электроснабжению сельского хозяйства координирует Управление электрификации сельского хозяйства Минэнерго СССР.

Министерство сельского хозяйства СССР разрабатывает задания и мероприятия по электрификации сельскохозяйственного производства и использованию электроэнергии для бытовых нужд сельского населения и организует их выполнение;

проводит мероприятия по обеспечению надлежащего технического уровня эксплуатации электростанций, котельных установок, электрических, тепловых и газовых сетей, нагревательных, облучающих и других энергетических установок, принадлежащих колхозам, совхозам и другим сельскохозяйственным предприятиям и организациям; разрабатывает рекомендации по организации работы межхозяйственных производственно-эксплуатационных объединений и предприятий «Сельхозэнерго» по энергетике и электрификации сельского хозяйства.

В Минсельхозе СССР вопросы, связанные с энергетикой и электрификацией, решает Главное управление механизации и электрификации, в состав которого входит Управление энергетики и электрификации. В Минсельхозе РСФСР есть Главное управление по энергетике и электрификации, а в министерствах сельского хозяйства других союзных республик при главных управлениях механизации и электрификации есть только группы специалистов-электриков.

В краях, областях и районах страны в сельскохозяйственных органах, как правило, энергетическая служба отсутствовала. Поэтому в последние годы изучалось несколько различных форм организации электротехнической службы в сельском хозяйстве. При этом была подтверждена высокая эффективность создания специализированных межхозяйственных производственно-эксплуатационных предприятий и объединений «Сельхозэнерго».

Эти предприятия и объединения ведут работу по дальнейшему развитию электрификации, автоматизации, теплофикации и газификации сельскохозяйственного производства, способствуют высокопроизводительному использованию энергетического оборудования, выполняют ремонт и техническое обслуживание энергетических установок.

Объединения предприятия «Сельхозэнерго» органически связаны с колхозами, совхозами и другими сельскохозяйственными предприятиями и призваны удовлетворять их нужды.

Являясь связующим звеном между хозяйством, подрядчиками, эксплуатационными и проектными организациями Минэнерго

СССР и Госкомсельхозтехники, объединения «Сельхозэнерго» приняли на себя функции, освобождающие хозяйства от выполнения несвойственных им работ, осуществляют единую техническую политику в вопросах планирования электрификации, технического обслуживания, технической учебы сельских энергетиков, а также в вопросах заказа и получения фондов на электроматериалы, оборудование, приборы и защитные средства для электрификации сельскохозяйственного производства и оснащения службы сельских энергетиков.

Госкомсельхозтехника СССР через районные и областные объединения «Сельхозтехника» выполняет следующее:

совместно с сельскохозяйственными органами выявляет потребности сельского хозяйства в оборудовании, машинах, механизмах и аппаратах, необходимых для электрификации и теплофикации сельскохозяйственного производства, и делает заявки на эти материально-технические средства;

в хозяйствах монтирует внутренние силовые и осветительные электропроводки и пуско-защитную аппаратуру, а также проводит техническое обслуживание оборудования и установок в животноводческих, птицеводческих и кормоприготовительных помещениях, на тепличных комбинатах и складах нефтепродуктов.

Министерство электротехнической промышленности обеспечивает производство электротехнического оборудования, аппаратуры и кабельных изделий для нужд электроснабжения сельского хозяйства и электрификации сельскохозяйственного производства.

§ 2. Специализированное техническое обслуживание и ремонт электрооборудования в сельском хозяйстве предприятиями «Сельхозэнерго»

В последнее время в нашей стране довольно широкое распространение нашли техническое обслуживание и ремонт электроустановок колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных организаций межхозяйственными производственными энергетическими предприятиями «Сельхозэнерго».

В специализированное техническое обслуживание и ремонт электрооборудования и электроустановок, находящихся на балансе колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных организаций, входят следующие работы:

— межремонтное обслуживание, в том числе оперативное (дежурное) обслуживание;

— текущий (а в некоторых случаях и капитальный) ремонт электроустановок и электрооборудования;

— ремонт, наладка, контрольно-измерительные работы на действующих установках.

Все эти работы выполняются по договорам. Себестоимость обслуживания одной условной единицы ремонта для различных объединений колеблется в пределах от 30 до 80 р.

Специализированное техническое обслуживание проводит электротехнический персонал «Сельхозэнерго», укомплектованный откомандированными в его распоряжение и вновь принятыми электромонтерами. Некоторые объединения включили в свой состав всех электромонтеров и ИТР хозяйств, в других объединениях главные инженеры-энергетики остались в штатах хозяйств, в этом случае электромонтеры оказываются под двойным контролем. Работу они получают в «Сельхозэнерго», выполняют ее в хозяйстве и качество работ проверяет как объединение, так и хозяйство. Графики ППР в этом случае имеются и в объединении, и в хозяйствах, обе стороны контролируют их выполнение.

В некоторых объединениях электромонтер получает письменные задания на выполнение работ в течение одних или нескольких суток, выполнение работ в этом случае подтверждается росписью в задании представителя хозяйства, принявшего выполненную работу. Для выполнения крупных работ, например по ремонту электрооборудования, выписывают наряд. Труд электромонтеров оплачивают по тарифно-премиальной системе с учетом числа условных единиц, приходящихся на одного электромонтера.

Предприятия «Сельхозэнерго» совместно с представителями хозяйства делают следующее:

- проводят инвентаризацию всего электрооборудования, электроустановок, силовых и осветительных проводок и другого оборудования с определением числа условных единиц и присвоением каждой единице электрооборудования инвентарного номера;
- составляют акты приема-передачи электроустановок;
- организуют на базе одного или нескольких хозяйств производственные эксплуатационные участки.

Эксплуатационные участки разбивают на «кусты» обслуживания, где организуют монтерские пункты (на 150...250 условных единиц) с соответствующим штатом электромонтеров. Монтерский пункт (площадью 12...25 м²) располагается на одной из ферм или в мастерской хозяйства и имеет необходимое оборудование (слесарный верстак, настольные сверлильный и наждачный станки), инструмент, приборы и защитные средства. На монтерском пункте должны быть графики технического обслуживания и ремонтов, эксплуатационный журнал и журнал выполненных работ (табл. 31 и 32).

Таблица 31

Форма эксплуатационного журнала

Дата и время проведения работ	Вид работ	Материалы, израсходованные на ремонт	Подпись выполнявшего работу	Работу принял

Журнал выполненных работ

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер

Районное управление
«Сельхозэнерго»

« » _____ 198 г.

А К Т

на выполнение работы по межремонтному техническому обслуживанию электрооборудования за месяц 198 г.
по участку _____

Основание на выполненные работы: договор на техническое обслуживание № _____ от _____

№ п/п	Электрооборудование	Единица измерения	Число ремонтных единиц	Цена по сметной стоимости		
				одной единицы	всего электрооборудования	в том числе материалов

Всего на сумму по акту (рублей)
Работу выполнял

Работа выполнена _____

подпись и печать

Представитель хозяйства заказчика

Акт составляют в пяти экземплярах.

Стоимость специализированного технического обслуживания и ремонта электроустановок определяют в приведенной ниже последовательности.

I. Определяют основные статьи затрат. Стоимость специализированного технического обслуживания и ремонта электроустановок состоит из следующих статей затрат:

- заработная плата электромонтеров, основная и дополнительная с премиями и начислениями на зарплату (работа в праздничные дни, дежурство на токах в период уборки урожая и т. д.);
- стоимость материалов на техническое обслуживание и ремонт электроустановок;
- содержание и эксплуатация автотранспорта;
- расходы на содержание участка;
- общехозяйственные расходы;
- плановые накопления в процентах от премии.

Для определения этих статей затрат составляют программу работ.

II. Заполняют программу работ. Она состоит из перечня оборудования с учетом места его установки, периодичности технического обслуживания и ремонта с учетом поправочных коэффициентов,

связанных с продолжительностью (сезонностью) работы электрооборудования.

II. Определяют расчетные значения сметы затрат.

- A. Подсчитывают фактическое число ремонтных единиц. При этом учитывают, что при капитальном ремонте совмещаются операции текущего ремонта, а при текущем — технического обслуживания, то есть при определении числа ремонтных единиц для выполнения текущих ремонтов из общей суммы вычитают число ремонтных единиц, затрачиваемых на капитальные ремонты электрооборудования. Аналогично из общей суммы ремонтных единиц, необходимых на техническое обслуживание электрооборудования, вычитают число ремонтных единиц, необходимых на выполнение капитальных и текущих ремонтов электроустановок.
- B. Определяют трудоемкость всех работ по ремонту электрооборудования с учетом трудоемкости каждой единицы.
- B. Рассчитывают заработную плату. Для выполнения работ по капитальному ремонту устанавливают средний 5-й разряд тарифной ставки, по текущему ремонту — 4-й и по техническому обслуживанию — 3-й разряд.
- Г. Определяют стоимость материалов. Ее считают в долях от тарифной ставки электромонтера. Для капитальных ремонтов она составляет 110%, для текущих — 75 и для межремонтного обслуживания — 25%.
- Д. Устанавливают численность электротехнического персонала и размер оплаты их труда. Численность электромонтеров определяют, исходя из затрат труда на проведение ремонтов и технического обслуживания и квалификационных разрядов электромонтеров.
- E. Подсчитывают затраты на содержание эксплуатационного участка (затраты на монтерский инструмент, приборы, спецодежду) в соответствии с нормами хозяйств (табл. 33).

Т а б л и ц а 33

Затраты на содержание приборов и инструмента

№ п/п	Прибор или инструмент	Число приборов или инструментов на одного электромонтера	Число электромонтеров	Общее число приборов и инструментов на хозяйство	Срок службы	Стоимость прибора или инструмента, р.	
						единиц	на год эксплуатации

Стоимость приборов и инструмента учитывают по фактическим затратам. Срок службы монтерского инструмента МИ-64 принимается равным 1 году, набора ключей — 2 годам, съемников, ножовок, ножниц по металлу и электропаяльников — 5, клещей токоизмерительных

тельных и переносного ампер-вольтметра — 8, остальных приборов и оборудования — 10 годам.

Стоимость работ по подготовке нового электрооборудования и монтажу составляет 10% от фонда заработной платы по тарифу электромонтеров, если эти работы не оформлены актом № 2 или другими актами. Расходы на содержание автотранспорта эксплуатационного участка по специализированному техническому обслуживанию электроустановок подсчитывают с учетом транспортных единиц (автомобилей, тракторов, мотороллеров), продолжительности работы одной единицы транспорта и стоимости одного часа ее работы, определяемой по временному тарифу. Документ подписывает директор объединения «Сельхозэнерго» и старший экономист.

В смету общехозяйственных расходов эксплуатационного участка по специализированному техническому обслуживанию входят следующие расходы:

- 1) на содержание районного предприятия «Сельхозэнерго» в размере 10% фонда заработной платы рабочих;
- 2) канцелярские и почтово-телеграфные;
- 3) на телефонную связь;
- 4) на подготовку кадров.

Смету также подписывают директор и старший экономист объединения «Сельхозэнерго».

Объединение «Сельхозэнерго», как правило, не принимает рекламации на выполненные работы, а получив известие о выходе электрооборудования из строя, бесплатно для хозяйства заменяет его новым или отремонтированным. Обычно в объединении «Сельхозэнерго» концентрируется резервный фонд электрооборудования хозяйств, что резко сокращает полную его стоимость и расходование средств на резервный фонд. Финансовые расчеты между хозяйствами и объединением «Сельхозэнерго» чаще всего осуществляют ежемесячно, но иногда ежеквартально.

§ 3. Энергетическая служба хозяйств

Штат электромонтеров любого хозяйства определяется категорией электроустановок и числом условных единиц объема работ на хозяйство. Под условной единицей определения объема работ понимается трудоемкость годового технического обслуживания и текущего ремонта электропривода, снабженного приборами автоматического управления с электродвигателем мощностью от 10 кВт и выше. Трудоемкость технического обслуживания и текущего ремонта другого электрооборудования выражается в долях принятой условной единицы.

Число условных единиц для определения объема работ, выполняемых электромонтерами, определяют, учитывая все электрооборудование хозяйства: линии электропередачи любого напряжения находящегося на балансе хозяйства, с учетом их исполнения и материала, кабельные линии, колодцы, тоннели, трансформаторные

подстанции любого типа и мощности, воздушные и кабельные линии связи, электростанции с учетом их мощности, в том числе и резервные, распределительные пункты, электроприводы с учетом их мощности и степени автоматизации, внутренние силовые и осветительные электроустановки в производственных, общественных, культурно-бытовых, лечебных и бытовых помещениях, включая обслуживание вводных устройств, трансформаторы сварочные, безопасности, зарядные агрегаты, электровулканизаторы, электрокалориферы, водоэлектродогреватели, электродные котлы, электрообогревательные установки и все другое имеющееся в хозяйстве электрооборудование.

В хозяйствах, имеющих объем электроустановок более 1500 условных единиц и использующих в год свыше 1 млн. кВт·ч электроэнергии на производственные цели, вводится должность главного инженера-энергетика. Если в хозяйстве менее 1500, но более 1000 условных единиц и годовое потребление электроэнергии на производственные цели составляет более 0,5 млн кВт·ч, вводится должность старшего (на правах главного) инженера-энергетика. При объеме электроустановок от 500 до 1000 условных единиц и годовом потреблении электроэнергии свыше 250 тыс. кВт·ч устанавливается должность старшего инженера-электрика; при объеме электроустановок от 251 до 500 условных единиц — должность инженера-электрика, от 101 до 250 условных единиц — должность старшего техника-электрика.

В отделениях и бригадах при объеме электроустановок 250 условных единиц и более вводится должность инженера-электрика, а при объеме от 101 до 250 условных единиц — техника-электрика. В хозяйстве с объемом электроустановок менее 100 условных единиц электротехническую службу возглавляет старший электромонтер.

За работу тепловых, холодильных и газовых установок, а также контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации, а в некоторых хозяйствах и средств связи обычно несет ответственность электротехническая служба хозяйства. В этом случае дополнительно к условным единицам определяется объем работ по обслуживанию перечисленных выше установок.

По числу условных единиц на участках последние подразделяют на три категории: первая с объемом работ более 100 условных единиц, вторая — от 50 до 100 и третья — до 50 условных единиц.

В зависимости от объема участков электромонтерам устанавливаются четыре группы окладов. При оформлении производственно-хозяйственных планов хозяйств принимается средняя нагрузка на одного электромонтера в 62,5...70 условных единицы.

За высококачественное и своевременное выполнение работ по ремонту и техническому обслуживанию силовых и осветительных электроустановок и электросетей при отсутствии аварий и простоев по вине электромонтеров последние получают премию в размере до 20% должностного оклада. Размер премий и показатели премии



Рис. 68. Рекомендуемая структура электротехнической службы.

рования устанавливают администрация хозяйства и местный комитет профсоюза по представлению главного энергетика.

Существующие нормативные материалы и передовой опыт обслуживания электрического оборудования в совхозах и колхозах позволяют рекомендовать структуру организации электротехнической службы в хозяйстве, приведенную на рисунке 68.

Электромонтеров группы эксплуатации закрепляют за определенными участками, где они ежедневно обслуживают электрооборудование, проводят плановое техническое обслуживание в местах его установки, ведут соответствующую документацию. Электромонтеры группы ремонта выполняют работы по вызову (аварийная бригада не менее двух человек); проводят текущие ремонты электрооборудования, доставленного на пункт технического обслуживания электрооборудования (ПТОЭ), и плановые электрические измерения, предусмотренные ПТЭ; ведут соответствующую техническую документацию.

Электромонтеры группы эксплуатации, обслуживающие электрооборудование в бригадах (отделениях), должны иметь отдельные помещения, где хранится техническая документация на электрооборудование, использованное на отделении, приборы, инструмент, защитные средства, запасные детали и элементы электрооборудования. Группа ремонта располагается на центральном ПТОЭ. Дежурную (аварийную) бригаду обеспечивают передвижной электроремонтной мастерской. При отсутствии вызовов дежурная бригада ремонтирует электрооборудование, доставленное на ПТОЭ. В зависимости от энерговооруженности подразделения службы могут быть возглавлены инженерами или техниками-электриками.

§ 4. Техническая документация энергетической службы

По состоянию технической документации энергетической службы хозяйства можно судить об уровне эксплуатации электрооборудования и электроустановок хозяйства. Техническая документация энергетических служб хозяйств в нашей стране не унифицирована. Хотя по своему основному содержанию техническая документация и отображает почти все необходимые стороны деятельности энергетической службы, она неодинакова для различных хозяйств.

Созданные в ряде областей страны объединения «Сельхозэнерго» разработали и разослали подведомственным хозяйствам еди-

ную для всех хозяйств своей области форму технической документации.

На основе анализа технической документации, используемой энергетическими службами хозяйств зоны Урала, можно рекомендовать следующее ее содержание.

I. Технический паспорт электрохозяйства (прил. 1...11,14). Это основной документ, характеризующий все стороны электрохозяйства совхоза или колхоза.

Паспорт содержит различные сведения в виде отдельных самостоятельных разделов или таблиц.

Каждый паспорт снабжен краткими указаниями по его заполнению. Технический паспорт электрохозяйства подписывают директор (председатель), главный инженер, главный энергетик и главный бухгалтер хозяйства.

II. Журнал учета электроприемников с пуско-регулирующей и осветительной аппаратурой (прил. 14).

III. План внедрения электроэнергии в сельскохозяйственное производство хозяйства на соответствующий год (прил. 12).

IV. Книга (журнал) заявок на устранение повреждений в электрохозяйстве (прил. 13).

V. Книга учета надежности электроснабжения (прил. 15). Хозяйство ежемесячно составляет справку об отключениях электроэнергии в хозяйстве по форме, аналогичной форме книги учета надежности электроснабжения.

VI. График планово-предупредительного обслуживания и ремонта электрооборудования хозяйства на соответствующий месяц и год (прил. 16). График составляет главный энергетик, согласует с главным инженером, а утверждает его директор (председатель) хозяйства.

VII. План капитального ремонта электрохозяйства на соответствующий год (прил. 17). План составляет главный энергетик, согласует с главным инженером, подписывает его директор (председатель) хозяйства.

В некоторых хозяйствах (областях) графики технического обслуживания, текущего ремонта объединяют в единый документ.

VIII. Журнал учета работ по техническому обслуживанию и планово-предупредительному ремонту (прил. 18).

IX. Журнал проверки знаний правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок (прил. 19).

В некоторых хозяйствах вводятся также журналы технической учебы электротехнического персонала, в которых приводятся сведения о составе слушателей, темах теоретических занятий, числах часов занятий. Журнал подписывает лицо, ведущее учебные занятия.

Х. Журнал учета проверки защитных устройств. Содержание журнала учета видно из таблицы, приведенной в приложении 20.

XI. Смета на проведение электромонтажных работ (прил. 21). Смету подписывает лицо, которое ее составило, и лицо, проверяющее правильность ее составления. Ее согласуют с главным экономистом хозяйства и утверждает директор (председатель) хозяйства.

XII. Заявка на материалы для выполнения работ (прил. 22). Заявку подписывают главный бухгалтер, главный энергетик и руководитель хозяйства.

Кроме перечисленных документов, в некоторых хозяйствах имеются карточки эксплуатации электродвигателей как основного оборудования, а также журнал учета выхода из строя основного электрооборудования. В какой-то мере они дублируют друг друга.

В первый документ входят следующие сведения: дата установки электродвигателя на рабочее место, приводной механизм (рабочая машина), характеристика окружающей среды, режим и характер нагрузки, средняя продолжительность работы, вид защиты, способ соединения с рабочей машиной, дата отказа, его причина, характер повреждения, меры по устранению отказа, их стоимость и время устранения, подпись ответственного за эксплуатацию.

Второй документ содержит такие сведения: наименование электрооборудования, его инвентарный номер, дату и вид проведенных технических обслуживаний, ремонтов и замен, дату установки и выхода из строя, причину выхода из строя и виновных.

Все эти документы должны храниться у главного энергетика хозяйства.

У энергетиков отделений или бригад обязательно должны быть: журнал учета токоприемников с пуско-защитной и осветительной аппаратурой; план внедрения электроэнергии; книга заявок на устранение повреждений; книга учета надежности электроснабжения; справка об отключениях электроэнергии; графики технического обслуживания и текущего ремонта.

Техническую документацию необходимо совершенствовать и упрощать с учетом опыта эксплуатации электрооборудования в конкретных условиях сельскохозяйственного производства.

§ 5. Система плано-предупредительного ремонта (ППРЭсх) и условия эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве

Как уже говорилось выше, системой плано-предупредительного ремонта (ППРЭсх) и технического обслуживания электрооборудования в сельском хозяйстве называется совокупность организационных и технических мероприятий по уходу, надзору за электрооборудованием, его обслуживанию и ремонту, проводимым профилактически с целью обеспечения безотказной его работы. Систе-

ма ППРЭСх должна обеспечивать исправность электрооборудования, его полную работоспособность, максимальную производительность и высокое качество обрабатываемых рабочими машинами продуктов и изделий.

В систему ППРЭСх входят следующие работы и мероприятия:

- определение видов работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования и их описание;
- установление периодичности между техническим обслуживанием и ремонтами;
- планирование профилактических операций и контроль за их осуществлением;
- разработка системы оплаты труда работников энергетической службы хозяйства;
- организация снабжения этой службы материалами и запасными частями;
- разработка методов и организация контроля качества технического обслуживания и ремонта;
- организация технического обслуживания и ремонта; составление графиков технического обслуживания и ремонта и их выполнение;
- организация производственной базы для выполнения ремонтных работ;
- разработка и уточнение различных нормативов (трудоемостей, простоев, расходов материалов и запасных частей и т. п.).

Систему ППРЭСх нужно постоянно совершенствовать, поскольку электропромышленность поставляет сельскому хозяйству все более надежное электрооборудование, улучшается культура эксплуатации электрооборудования, накапливается опыт его эксплуатации, улучшается технология сельскохозяйственного производства.

Основное достоинство системы ППРЭСх — ее плановость. Электротехническая служба хозяйства заранее с учетом имеющихся графиков технического обслуживания и ремонта электрооборудования подготавливает необходимое оборудование, материалы, инструмент, приборы, готовит кадры и проводит все требуемые операции быстро, без простоев технологического оборудования и высококачественно. Все это повышает эксплуатационную надежность электрооборудования.

ППРЭСх создает необходимые предпосылки для эффективного использования оборудования, увеличения времени его полезной работы, снижения стоимости ремонтных работ, улучшения их качества и уменьшения физического износа оборудования. ППРЭСх позволяют увеличить срок службы электродвигателей и другого электрооборудования в 2...3 раза и снизить эксплуатационные расходы более чем на 25%.

Недостаток системы ППРЭСх заключается в отсутствии в ней дифференцированного подхода к электрооборудованию с учетом его исполнения, состояния, режимов работы и т. п. На работу электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве, значи-

тельное влияние оказывает среда. Среда сельскохозяйственного производства, в которой работает электрооборудование, очень многообразна.

Правила технической эксплуатации подразделяют среды на пять следующих основных категорий:

1) чистые сухие помещения, при этом температура среды не ограничивается, но следует предполагать, что в нормальных пределах она составляет около 20°C (293K);

2) пыльные помещения (пункты или цехи приготовления концентрированных кормов, переработки грубых сухих кормов, столярные мастерские и т. п.). Влажность и температура среды в таких помещениях практически не отличаются от влажности и температуры наружной среды. В последнее время предпринимаются попытки утепления таких помещений с целью облегчения работы электродвигателей и рабочих машин, особенно в зимнее время;

3) влажные и сырые помещения (водокачки, кормокухни, молочные и др.). Обычно температура среды в этих помещениях положительна и колеблется в незначительных пределах;

4) навесы и открытые площадки;

5) сырые помещения с выделением аммиака (животноводческие помещения).

Животноводство — отрасль сельского хозяйства, наиболее оснащенная электрооборудованием. Например, в настоящее время число электродвигателей, установленных в животноводстве, достигает 40% от общего парка установленных в сельском хозяйстве, и эта доля имеет тенденцию к относительному росту.

Сельскохозяйственное производство интенсивно переходит на промышленную основу. Появляются крупные животноводческие комплексы и птицефабрики, в помещениях которых создается микроклимат, обеспечивающий наибольшую продуктивность животных. Наиболее благоприятные параметры среды животноводческих ферм (температура и влажность) — зоогигиеническая норма, приведены в таблице 34. Содержание аммиака во всех помещениях 0,01...0,02 мг/л.

Таблица 34

Помещения	Температура, °С	Относительная влажность, %
Коровники	6...8	85
Телятники	4...8	85
Свинарники	2...12	65...80
Родильные отделения	10...12	75...85
Птичники	2...10	75

Однако в настоящее время только примерно пятая часть продукции получается с животноводческих комплексов, большую часть продукции выдают обычные товарные фермы, параметры среды

которых часто неблагоприятны не только для животных, но и для установленного в них электрооборудования.

Наиболее тяжелые условия среды на фермах наблюдаются в зимний период, при этом параметры среды изменяются как в течение суток, так и в течение стойлового периода. Последнее объясняется естественным изменением условий вентиляции и режима работы фермы.

Наиболее вероятные (реальные) значения параметров среды животноводческих ферм в стойловый период приведены в таблице 35.

Таблица 35

Помещения	Температура, °С	Содержание аммиака, мг/л	Относительная влажность, %
Коровники	4	0,033	81
Телятники	11	0,036	87
Свинарники	13	0,11	82,5
Птичники	9	0,03	62,5

Сравнение параметров среды помещений комплексов и товарных ферм показывает, что наиболее вероятное значение относительной влажности среды ферм выше зоогигиенической нормы.

При этом необходимо учесть, что электрооборудование общепромышленного исполнения, например, электродвигатели, которые в основном используются в настоящее время в сельскохозяйственном производстве, рассчитано на работу при 75...80% влажности (75% — допустимая относительная влажность для электродвигателей второй серии и 80% — для последней четвертой серии). Кроме того, следует также учесть, что электрооборудование общепромышленного исполнения совсем не рассчитано на работу в среде с высоким содержанием аммиака и других агрессивных газов.

Таким образом, из-за высокого значения относительной влажности и агрессивности среда товарных животноводческих ферм наиболее неблагоприятна для работы электрооборудования.

§ 6. Виды обслуживания и ремонтов

Техническое обслуживание — комплекс работ для поддержания исправного состояния и работоспособности электрооборудования в процессе эксплуатации. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве подразделяется на два вида: производственное и межремонтное.

Производственное техническое обслуживание осуществляют в процессе эксплуатации персонал, обслуживающий рабочие машины, и дежурные электромонтеры.

В производственное техническое обслуживание входят очистка от пыли и грязи, регулировка креплений (болтов, винтов, гаек), контроль за режимом работы электрооборудования и другие операции. Электромонтеры контролируют выполнение производственными рабочими правил эксплуатации электрооборудования, проверяют и регулируют электрооборудование, проводят ежедневный осмотр и устраняют обнаруженные мелкие неисправности.

В объем межремонтного технического обслуживания электрических машин и сварочных трансформаторов входят операции производственного обслуживания, а также проверка заземления, степени нагрева (корпус, контактные кольца, подшипники), отсутствия ненормальных шумов при работе, центровки привода и рабочей машины, надежности соединений, правильности работы и при необходимости регулировка пуско-защитной аппаратуры или ее выбор, проверка измерительных приборов, выявление и устранение мелких неисправностей.

В объем технического обслуживания низковольтной аппаратуры входят: очистка от пыли и грязи, проверка заземления, контактных соединений, изоляционных панелей, включающих и выключающих устройств, приводов, элементов защиты, дугогасительных камер, станций управления и автоматических устройств и устранение выявленных неисправностей.

В техническое обслуживание внутренних проводов входят: очистка от пыли и грязи, проверка надежности крепления всех элементов проводов, изоляции и изоляторов, соединения проводов и их натяжений, уплотнений, заземлений, состояния окраски конструктивных элементов и устранение выявленных неисправностей. Один раз в два года в помещении с нормальной средой и один раз в год в сырых, пыльных и пожароопасных помещениях измеряют сопротивление изоляции проводов мегомметром на 1000 В, оно должно быть не ниже 0,5 МОм.

Техническое обслуживание проводит эксплуатационный или ремонтный персонал без разборки электрооборудования на рабочем месте в период технологических перерывов в работе, в нерабочие смены или в выходные дни.

В сельском хозяйстве предусматривается проведение двух видов плановых ремонтов: текущих и капитальных.

Текущий ремонт — основной профилактический вид ремонта, обеспечивающий долговечность и безотказность работы электрооборудования. Путем чистки, проверки, замены быстрознашивающихся частей и наладки оборудование поддерживают в работоспособном состоянии до следующего планового ремонта. В объем текущего ремонта электрических машин входят операции: отключение от сети, очистка от пыли и грязи, заземление рабочей машины или привода, демонтаж, транспортировка в ремонтную мастерскую, предремонтные испытания (дефектация), разборка, наложение (при необходимости) дополнительной изоляции на выводные концы обмотки, пропитка и сушка обмоток, проверка и при необходимости

сти замена подшипников, проверка воздушного зазора между статором и ротором, ремонт контактных соединений, контактных колец, коллектора, щеточного механизма, крепежных деталей, вентилятора, сборка, испытания (при необходимости под нагрузкой), окраска, транспортировка на рабочее место, монтаж и проверка под нагрузкой. Аналогичен описанному и объем текущего ремонта трансформаторов. При текущем ремонте низковольтной пуско-защитной аппаратуры неисправные узлы и детали заменяют новыми и ремонтируют обычно только кожух.

Текущий ремонт проводит ремонтный персонал.

Капитальный ремонт — наиболее сложный и полный по объему вид ремонта. При этом электрооборудование полностью разбирают, ремонтируют даже базовые узлы, например обмотки электрических машин или аппаратов. В процессе капитального ремонта электрооборудование может быть модернизировано, то есть усилены его слабые узлы и таким образом улучшены характеристики, повышена эксплуатационная надежность.

Капитальный ремонт электрооборудования проводят на специализированных электроремонтных предприятиях. Например, ремонт электродвигателей, генераторов, сварочных трансформаторов, автотранкортного электрооборудования проводят на ремонтных предприятиях объединения Госкомсельхозтехника, а ремонт силовых трансформаторов сельских сетей, как правило, делают на ремонтных предприятиях энергетических систем.

Периодичность технического обслуживания и ремонтов устанавливается системой ППРЭСх в зависимости от вида электрооборудования и характера среды, в которой оно работает.

При этом период работы электрооборудования между двумя очередными плановыми ремонтами (наработка, выраженная в календарном времени), а для вводимого в эксплуатацию электрооборудования период от ввода в эксплуатацию до первого планового ремонта называется межремонтным периодом.

Межремонтный период между двумя плановыми капитальными ремонтами называется ремонтным циклом. Последовательность выполнения различных видов технического ремонта и обслуживания определяет структуру ремонтного цикла:

$K - TO - T - TO - T$ и т. д.,

где K , T и TO — обозначает соответственно капитальный, текущий ремонты и техническое обслуживание.

Структура ремонтного цикла зависит от вида оборудования, условий эксплуатации и его состояния.

§ 7. Периодичность технического обслуживания и ремонтов электрооборудования. Трудоемкость работ

Система ППРЭСх устанавливает периодичность технического обслуживания и ремонтов основного электрооборудования в зависимости от характера среды, в которой оно работает. Например,

для асинхронных электродвигателей при двухсменной работе периодичность технического обслуживания для пяти охарактеризованных выше категорий сред составляет соответственно 45, 30, 15, 15 и 10 дней, периодичность текущих ремонтов — 12, 6, 6, 6 и 6 месяцев и капитальных ремонтов — 6, 5, 5, 5 и 4 года. При этом одновременно с техническим обслуживанием и текущим ремонтом электродвигателей проводят техническое обслуживание и ремонт их аппаратуры и защиты. Периодичность технического обслуживания капитальных ремонтов генераторов передвижных работающих в помещениях, составляет соответственно 15 дней, 6 месяцев и 5 лет, а работающих на открытом воздухе — 7 дней, 6 месяцев и 4 года. Периодичность текущих трансформаторов составляет 15 дней, работающих в помещениях и 7 дней, 6 месяцев и 4 года на открытом воздухе.

Электростанции (многоамперные низковольтные посты), работающие в помещениях, имеют периодичность ремонтных работ 15 дней, 4 месяца и 3 года. Техническое обслуживание электропроводок в чистых помещениях с нормальной средой проводят один раз в 6 месяцев, а в сырых, пыльных и пожароопасных помещениях — один раз в 3 месяца. Один раз в 3 месяца проводят техническое обслуживание надземной части заземляющих устройств.

При односменной работе электрооборудования система ППРЭС рекомендует приведенные данные по периодичности технического обслуживания и ремонтов умножать на коэффициент 1,4, а при трех сменах — на 0,6. Рекомендуется очищать и продувать электрооборудование, работающее в тяжелых условиях, без его разборки через 10...20 рабочих смен, а работу с подшипниками совмещать с техническим обслуживанием или плановыми ремонтами.

При эксплуатации нового электрооборудования сельскохозяйственного назначения рекомендуется руководствоваться инструкциями заводов-изготовителей.

С учетом изложенного в каждом хозяйстве составляют графики проведения технического обслуживания и текущих ремонтов электрооборудования и электроустановок. Графики капитальных ремонтов электрооборудования, как правило, не составляют.

Для укрупненных расчетов, связанных с планированием и учетом работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования системой ППРЭС, введено понятие «Условная единица ремонта».

Под условной единицей понимается трудоемкость технического обслуживания и ремонта электродвигателя закрытого исполнения с короткозамкнутым ротором условной мощностью 5 кВт, напряжением 380/220 В, частотой вращения 1500 об/мин.

При нормальной доступности элементов электрооборудования и средней обеспеченности техническими средствами трудоемкость (чел.-ч) одной единицы ремонта по видам ремонтных работ такова:

техническое обслуживание	0,5
смазка	0,25
текущий ремонт	4,8
капитальный ремонт	12,5

В зависимости от условий ремонта можно изменять нормативы трудоемкости до $\pm 15\%$ без изменения общих годовых затрат на соответствующий вид ремонтных работ.

В системе ППРЭСх приведены нормативы затрат труда на проведение различных видов ремонтных работ электрооборудования разного типа в зависимости от его мощности и других параметров. Однако в системе ППРЭСх отсутствует зависимость трудоемкости технического обслуживания электрооборудования от условий среды, в которой оно эксплуатируется (температура, влажность, загазованность и т. п.), а также места расположения электрооборудования (на полу, стене, потолке и т. п.), то есть степени его доступности. Поэтому сельские инженеры-энергетики должны уточнять нормативы трудоемкости работ по техническому обслуживанию в зависимости от местных конкретных условий.

§ 8. Составление графиков ППРЭСх. Материально-техническое обеспечение работ

Для правильной организации работ в хозяйстве составляют графики технического обслуживания и текущих ремонтов. Особого внимания требует составление первых графиков, так как необходимо предусмотреть занятость всего рабочего дня электромонтеров, максимально избежать переходов электромонтеров между объектами, предусмотреть обеспечение их необходимым инструментом, материалами, приборами. Как показал опыт передовых хозяйств, оправдывают себя специализированные звенья по техническому обслуживанию, обеспеченные автотранспортом.

Графики технического обслуживания электрооборудования составляют обычно на месяц или квартал. Квартальный график технического обслуживания электрооборудования составляют по следующей форме.

Электрооборудование	Место установки	Месяц											
		январь				февраль				март			
		1	2	...	31	1	2	...	28	1	2	...	31

Годовой график текущего ремонта электрооборудования составляют по следующей форме.

Электрооборудование и место установки	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

МСХ СССР утверждены разработанные ВИАЭСХ нормы расхода материалов на техническое обслуживание и текущий ремонт электроустановок в совхозах, колхозах и других сельскохозяйственных предприятиях. Нормы расхода материалов предназначены для планирования материалов на выполнение профилактических мероприятий при эксплуатации электрооборудования в колхозах и совхозах. Они разработаны в соответствии с типовыми технологиями технического обслуживания и текущего ремонта, предусмотренными ППРЭСх.

На текущий ремонт электрооборудования (асинхронного двигателя, синхронного генератора, сварочного генератора и трансформатора, магнитного пускателя и автоматического выключателя, рубильника, пакетного выключателя и переключателя, ключа и кнопки управления, осветительного щитка с пакетными выключателями и распределительного шкафа с рубильниками и предохранителями) разработаны дифференцированные нормы на один ремонт, а на техническое обслуживание разработаны суммарные нормы расхода материалов на год эксплуатации.

Для воздушных и кабельных электрических линий, внутренней электропроводки, сети управления, контроля и сигнализации, заземляющего устройства, электрошкафа управления, светильника и облучателя, реле, КИП, нагревающего устройства парников и теплиц, электрических брудеров, электрокалориферов, электродных водогрейных котлов и водонагревателей-термосов разработаны суммарные нормы расхода материалов на техническое обслуживание и текущие ремонты на год эксплуатации.

Номенклатура электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве, постоянно изменяется, появляются новые типы более совершенных машин, приборов и оборудования, для проведения технического обслуживания и ремонта которых требуются новые материалы более высокого качества.

Повышение надежности электрооборудования ведет к изменению сроков обслуживания и ремонта, уменьшению расхода требуемых для этих целей материалов.

§ 9. Оптимальный резервный фонд электрооборудования и запасных частей хозяйства

Номенклатура основных запасных частей и нормы их хранения разработаны ГОСНИТИ, согласованы с Министерствами сельского хозяйства, мелнорации и водного хозяйства СССР, одобрены отде-

лом сельского хозяйства Госплана СССР и утверждены Всесоюзным объединением «Госкомсельхозтехника». Они приведены в виде таблицы в системе ППРЭСх и рассчитаны на год эксплуатации. Однако следует иметь в виду необходимость корректировки этих норм с учетом номенклатуры электрооборудования, режима его работы, условий эксплуатации и реальных сроков технического обслуживания. Наилучшим вариантом определения оптимального объема запасных частей должен служить статистический метод.

Определяя в течение, например, месяца опытным путем необходимый объем запасных частей по группе одноименного электрооборудования с учетом конкретных условий, нужно только выполнить пересчет на весь парк установленного в хозяйстве оборудования.

Очень важно иметь в хозяйстве резервный фонд на основное электрооборудование, в частности на электродвигатели. Система ППРЭСх не приводит нормативы на резервный фонд. Для его определения необходимо установить реальный срок службы электрооборудования:

$$T_{\text{ср}} = \frac{t_1 n_1 + t_2 n_2 + \dots + t_i n_i}{\sum_1^i n}$$

где $t_1, t_2 \dots t_i$ — сроки службы электродвигателей; $n_1, n_2 \dots n_i$ — число электродвигателей, имеющих соответствующий срок службы.

Сроки службы нужно определить не только по отраслям производства, но и конкретно по номенклатуре электрооборудования.

Зная сроки службы отдельных видов электрооборудования и весь парк его с учетом номенклатуры, нетрудно определить искомый резервный фонд. Желательно иметь в резервном фонде электрооборудование более надежное, чем установленное в хозяйстве (новые серии электродвигателей, модернизированные электродвигатели и т. д.). Может оказаться, что установочные размеры нового, более надежного электродвигателя не совпадают с установочными размерами электродвигателя, для смены которого он предназначен. В этом случае электротехническая служба хозяйства должна заранее провести соответствующую работу по подготовке замены электродвигателей (изготовление шайб, прокладок, подгонка размеров и т. д.).

В сельском хозяйстве в основном установлены электродвигатели небольших мощностей — от одного до нескольких киловатт. Вот на этот парк и рассчитывается резервный фонд.

Экономически неоправданно иметь резерв на отдельные электродвигатели большой мощности. Резерв на такие машины должны иметь районные отделения по материально-техническому обеспечению сельского хозяйства.

Важно также правильно распределить резервный фонд между складами центральной усадьбы и отделений хозяйства. При централизованном хранении резерва только на центральном складе

стоимость резерва минимальна, но приходится делать транспортные расходы на перевозку резерва со склада на место установки. При децентрализованном хранении резерва его стоимость оказывается максимальной, что отражается на себестоимости продукции хозяйства.

Расчеты оптимальной структуры резервного фонда по конкретным хозяйствам Челябинской области показали, что желательнее отдавать предпочтение централизованному хранению резервного фонда.

§ 10. Оформление электроустановок, вводимых в эксплуатацию

Качество работ по монтажу электроустановок, проводимых подрядными организациями, контролирует электротехническая служба хозяйства. Замеченные недостатки или изменения, которые необходимо выполнять при монтаже, согласовывают с проектной организацией, подрядчиком и при необходимости с Энергосбытом.

Допуск в эксплуатацию электроустановок (потребителей) напряжением выше 1000 В, подключаемых к энергосистеме, осуществляет Энергосбыт. Готовность вновь смонтированных и реконструированных электроустановок напряжением до 1000 В определяет потребитель. Он же включает эти установки.

Допуск в эксплуатацию электронагревательных аппаратов осуществляет только Энергосбыт.

Все вводимые в эксплуатацию электроустановки должны быть полностью смонтированы в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) и проектом, ранее согласованным с Энергосбытом, испытаны, обеспечены технической документацией и приняты хозяйством (потребителем) от монтажной организации.

О готовности электроустановки к присоединению хозяйство за 5 дней до вызова инспектора на осмотр ставит в известность Энергосбыт письменно или телеграммой и одновременно готовит техническую документацию. Независимо от характеристики электроустановки хозяйство должно предъявить следующие документы:

- 1) перечень предъявленной документации;
- 2) технические условия электроснабжающей организации на присоединение электроустановки;
- 3) технический проект электроустановки;
- 4) согласование проекта с Энергосбытом;
- 5) справку от сетевого предприятия о готовности к присоединению дополнительных мощностей;
- 6) приемо-сдаточный акт между монтажной организацией и хозяйством с заключением о возможности ввода электроустановки в эксплуатацию;
- 7) перечень имеющихся в наличии защитных средств и противопожарного инвентаря;

8) согласованную с проектной организацией и Энергосбытом ведомость отклонений от проекта;

9) ведомость недоделок по проекту.

При сдаче электроустановок напряжением до 1000 В необходимы следующие документы:

1) исполнительные планы силовой и осветительной сети;

2) исполнительные чертежи заземляющих устройств;

3) протоколы измерения сопротивления изоляции электрооборудования и электропроводки по участкам между смежными предохранителями и за последним предохранителем при отключенных электроприемниках, аппаратуре и приборах;

4) протоколы испытания повышенным напряжением промышленной частоты изоляции электрооборудования, проводки, аппаратов, цепей вторичной коммутации;

5) протокол проверки расцепителей автоматов с номинальным током 200 А и более;

6) протокол проверки работы контакторов и автоматов при номинальном и пониженном напряжении оперативного тока;

7) протокол проверки заземляющих устройств (акты на скрытые работы, протоколы измерения сопротивления заземляющих устройств, протокол наличия металлической связи между заземляющим устройством и заземляющими элементами, паспорт заземляющего устройства — схема и протокол измерения полного сопротивления петли фаза — нуль);

8) протокол измерения сопротивления металлической связи местного контура заземления подстанции;

9) протокол измерения сопротивлений заземлителей нулевого провода воздушных ЛЭП 0,4/0,22 кВ;

10) протокол испытания и проверки шинпроводов;

11) протокол проверки фазировки РУ 0,4 кВ и присоединений.

В Энергосбыт передаются также приказ по хозяйству в двух экземплярах о назначении лица, ответственного за эксплуатацию электроустановки, а также списки лиц (ф., и., о., должность, квалификационная группа по технике безопасности, номер телефона), которым разрешается от имени хозяйства давать диспетчеру сетевого предприятия заявки на отключение и включение электроустановки.

Технический осмотр электроустановки проводит инспектор Энергосбыта с представителем хозяйства, ответственным за эксплуатацию энергохозяйства, при этом должна быть обеспечена безопасность обслеживания. После рассмотрения представленной документации и обслеживания электроустановки инспектор составляет акт по допуску в эксплуатацию.

К акту прилагают схему электроустановки с указанием параметров сети и оборудования, релейных и грозозащитных устройств и расчетного учета.

Если в монтаже обнаружены существенные недостатки, несоответствие электроустановки ПУЭ и проекту, выданным техническим

условиям на присоединение установок релейных защит или отсутствие защитных средств, предупредительных плакатов и подготовленного для эксплуатации электроустановки персонала, установку в эксплуатацию не включают.

Вновь смонтированные электроустановки принимает административно-хозяйственная комиссия (представители заказчика, монтажной и других заинтересованных организаций) с оформлением приемо-сдаточного акта. Включает электроустановку представитель сетевого предприятия.

§ 11. Ущерб, наносимый сельскохозяйственному производству перерывами в подаче электроэнергии, и ее рациональное расходование

В условиях сельскохозяйственного производства, где токоприемники относительно небольшой мощности находятся на значительных расстояниях друг от друга, потребители получают питание от воздушных электрических сетей, подверженных влиянию атмосферных явлений (грозы, ветер, гололед) и повреждаемых крупногабаритными сельскохозяйственными машинами, дикими и домашними птицами, где часто отсутствует резервное питание, происходят перерывы в питании потребителей, наносящие подчас большой ущерб хозяйству.

ВИЭСХ разработал методические рекомендации по определению ущерба сельскохозяйственному производству от перерывов в подаче электроэнергии. Определяя значения ущерба для различных процессов за определенный промежуток времени, находят средние удельные значения ущерба для рассматриваемых процессов. Ущерб от перерывов в электроснабжении определяют, исходя из конкретных условий каждого хозяйства. В общем случае ущерб равен

$$Y = Y_1 + Y_2 - Q_0 C_0,$$

где Y_1 — основной ущерб, обусловленный неиспользованием основных доходов предприятия, а также снижением продуктивности животных; Y_2 — дополнительный ущерб, вызванный порчей сырья и оборудования, порчей или невозвратимой потерей готовой продукции и полуфабрикатов, а также гибелью животных или снижением их продуктивности; Q_0 — количество недоотпущенной электроэнергии за период, в течение которого определяется ущерб (месяц, квартал, год); C_0 — стоимость электроэнергии, р/кВт·ч.

Основной ущерб по сельскохозяйственному предприятию, объекту (процессу) можно определить по формуле

$$Y_1 = \frac{3}{T_v P} P_1.$$

Здесь T_v — продолжительность работы объекта (предприятия) в год, сутки; P — среднее количество продукции, выработанной за сутки, при нормальной работе предприятия (объекта); P_1 — количество продукции, невыработанной вследствие

вне перерывов в электроснабжении, с учетом продукции, невыработанной за время, последующее после перерывов; для некоторых процессов сельскохозяйственного производства характерно снижение продуктивности, связанное с биологическими особенностями, например снижение удоев, яйценоскости и т. д., это и должно учитываться при подсчете Π ; Σ — годовые затраты при нормальной работе предприятия:

$$\Sigma = P_n C + P_a C_1 + P'_a C_2 + C_3,$$

где P_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; $C = C_1 + C_2 + C_3$ — стоимость основных фондов предприятия (объекта), р.; C_1 — стоимость оборудования (без учета стоимости тракторов и других неэлектрифицированных сельскохозяйственных машин), р.; C_2 — стоимость строительной части предприятия (объекта), р.; C_3 — стоимость животных, дающих продукцию, например стоимость дойных коров, кур и т. д., р.; P_a — амортизационные отчисления (р.) от стоимости основных фондов, которые принимаются в соответствии с «Нормами амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР»:

на силовое электротехническое оборудование и распределительные устройства	6,3
на сельскохозяйственные машины (исключая тракторы, комбайны и другие машины для механизации полеводства) и машины по механизации процессов труда на животноводческих фермах	14,2
на водонапорные башни кирпичные и железобетонные	2,4
металлические	5,3
деревянные	8,0
на теплицы зимние	5,0
весенние	4,1
на парники	2,3

P'_a — амортизационные отчисления на строительство предприятия, объекта, р.;
 C_a — годовые эксплуатационные расходы предприятия, включая стоимость кормов для животноводческих ферм (но без стоимости амортизационных отчислений).

В тех случаях, когда наработка продукции или приведенные затраты распределены по времени года неравномерно, необходимо рассматривать соответствующие периоды, за которые они могут быть приняты распределенными равномерно.

Для данного случая за значения Σ , T_p и Π в приведенном выше выражении принимаются соответственно часть годовых затрат, число суток и среднесуточная наработка за рассматриваемый период. Определив ущерб, нанесенный хозяйству перерывами в подаче электроэнергии, хозяйство имеет право предъявить иск о возмещении убытка энергоснабжающим организациям (районам электрических сетей).

Длительное время при относительно небольшом потреблении электроэнергии сельское хозяйство практически не ограничивало своих нужд в электроэнергии, а руководители хозяйств уделяли недостаточное внимание вопросам потребления электроэнергии. Бурный рост сельской электрификации привел к тому, что в настоящее время всем колхозам, совхозам и другим сельскохозяйственным предприятиям планируется централизованно определенное годовое потребление электроэнергии. Нормы потребления электроэнергии для нужд сельского населения разрабатывает Всесоюзный научно-исследовательский институт электрификации сельского хо-

зяйства (ВИЭСХ) и утверждает Министерство сельского хозяйства СССР. Для более полного учета местных, зональных и технологических особенностей каждая республика должна уточнить предлагаемые зональные коэффициенты и нормы, утвердить их и довести до местных сельхозорганов и хозяйств республики.

Для процессов, в которых технология носит стабильный характер, а использование средств механизации четко обусловлено стандартным оборудованием, нормы расхода электроэнергии могут быть использованы не только для целей планирования, но и для нормирования по отдельным сельхозпредприятиям. Это позволяет контролировать расход электроэнергии на существующих объектах и принимать меры к ее экономии.

Рациональное расходование электроэнергии может быть обеспечено только при выполнении целого комплекса мероприятий.

Прежде всего это повышение надежности электроснабжения при высоком качестве электроэнергии путем совершенствования схемы питания; перевод сетей на повышенное напряжение; сниженные действия радиуса существующих подстанций; применение сетевого резервирования, в частности, с использованием автоматического включения резерва; секционирование сетей, средств регулирования напряжения; переход на кабельные линии и т. д.

Необходимо учесть, что стоимость электроснабжения крупных животноводческих комплексов составляет всего около 2% стоимости последних. При увеличении резервирования элементов электроснабжения можно избежать больших ущербов от перерывов в электроснабжении.

Сельскохозяйственное производство характерно несимметрией нагрузки по фазам, что вызывает значительные дополнительные потери во всех элементах системы, включая сети потребителей. В этом случае для снижения потерь и повышения качества электроэнергии желательно использовать выпускаемые электропромышленностью страны специально для сельского хозяйства трансформаторы с соединением обмоток «звезда — зигзаг с нулем» и «треугольник — звезда с нулем». Для уменьшения потерь желательно также применять трансформаторы глубокого ввода. Строгое соблюдение ПТЭ и проведение профилактических мероприятий также резко снижают аварийность элементов электроснабжения. Так, например, повреждаемость трансформаторов I и II габаритов составляет в среднем по стране около 5% общего их парка, а в некоторых сетях эта цифра снижена до 1%.

При отсутствии трансформаторов с автоматическим регулированием напряжения под нагрузкой пужно правильно устанавливать переключатели силовых трансформаторов с учетом конкретной нагрузки и значения напряжения.

Очень неравномерная загрузка трансформаторов сельских сетей в течение суток сопровождается, как правило, увеличением потерь, снижением его к. п. д. и $\cos \phi$. Применение двух и более трансформаторных подстанций и правильный выбор мощности трансформа-

торов позволяют улучшить режим их работы. Желательно загрузить трансформаторы в часы минимума нагрузки, например, в ночное время на тепловую нагрузку.

При соответствующих условиях потребитель может в данном случае расходовать электроэнергию по сниженному тарифу.

Для улучшения режима сельских сетей могут быть применены конденсаторы с поперечным включением в линию и установкой на открытом воздухе. Подавляющее большинство установленных в сельском хозяйстве электродвигателей недостаточно загружено, что может сопровождаться уменьшением $k. п. д.$ и $\cos \varphi$. Поддержание высокого качества электроэнергии на клеммах электродвигателей и перевод рабочих машин, которые они приводят в действие, на автоматическую нагрузку обычно улучшает технико-экономические показатели электродвигателей. Как известно, крайне нежелательны режимы холостого хода электродвигателей, сварочных трансформаторов и т. д. Это положение особенно существенно при малой продолжительности использования электродвигателей в сельском хозяйстве, особенно в животноводстве.

Один из путей повышения $\cos \varphi$ — это замена асинхронных электродвигателей синхронными, однако в сельском хозяйстве они еще не получили распространения.

Академик Л. Г. Прищеп предложил подсушивать обмотки электродвигателей в период нерабочих пауз при помощи конденсаторов, включенных последовательно с обмоткой. В этом случае за счет протекающих через обмотку токов в электродвигателе создается положительный термовлаградиент и его обмотка продолжает осушаться, а $\cos \varphi$ установки возрастает. При необходимости конденсаторы можно оставить включенными и при работающем электродвигателе.

Глава I

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕМОНТЕ

§ 1. Общие положения

Особенность ремонта электрооборудования заключается в том, что до ремонта это оборудование (например, двигатель) рассчитывают. Эта операция необходима для проверки, соответствуют ли имеющиеся обмоточные данные электродвигателя или аппарата каталожным, не подвергался ли этот аппарат перемотке уже после его изготовления. Полученные обмоточные данные сравнивают с каталожными, а определенные расчетом электромагнитные нагрузки сопоставляют с табличными. Только в случае полного совпадения всех необходимых величин или при малых расхождениях между ними можно приступать к ремонту электрооборудования.

Резкое отклонение некоторых расчетных величин от табличных или каталожных указывает на допущенную ошибку при изготовлении электрооборудования на заводе, при его ремонте или при перемотке на новые параметры, то есть на несоответствие паспорта электрооборудования его обмоточным данным. Это электрооборудование не выдержит послеремонтных испытаний, и его необходимо будет ремонтировать повторно. Если такое электрооборудование выпустить с ремонтного предприятия, оно выйдет из строя сразу же после установки на рабочую машину.

Обязательного проверочного расчета требует, например, перевод электромашин на другие изоляционные материалы и обмоточный провод. Электродвигатели старой серии А при переходе со старой изоляции (электрокартон и лакоткань) и провода марки ПБД или ПЭЛБО на новый вид изоляции (пленко-электрокартон или пленка) и эмалевый провод могут после пересчета быть выполнены на большую мощность (при тех же габаритах) и наоборот, перевод электродвигателя новой серии 4А на устаревшие изоляционные и активные материалы повлечет за собой уменьшение мощности машины.

Кроме того, заказчик часто требует изменить паспортные данные электрооборудования для использования его в новых условиях или на другой рабочей машине.

Связь между размерами, удельными электромагнитными нагрузками и мощностью электрической машины или электромагнит-

ного аппарата вытекает из уравнения расчетной мощности и имеет общий вид как для машин, так и для аппаратов. Расчетная мощность машины или трансформатора

$$S = mIE,$$

где m — число фаз; I — ток якоря, фазы статора машины или фазы соответствующей обмотки трансформатора; A ; E — электродвижущая сила обмотки якоря машины постоянного тока, фазы обмотки статора машины переменного тока или фазы обмотки соответствующего напряжения трансформатора, В.

Электродвижущую силу определяют по формуле

$$E = 4k_f f \omega k_{об} \Phi,$$

где k_f — коэффициент формы поля; f — частота тока якоря статора электрической машины или аппарата (для электрических машин $f = \frac{pn}{60}$), Гц; n — частота вращения поля; p — число пар полюсов; ω — число витков одной параллельной ветви обмотки якоря, фазы обмотки статора или соответствующей обмотки трансформатора; $k_{об}$ — обмоточный коэффициент (для синхронных и асинхронных машин $k_{об} < 1$, для машин постоянного тока $k_f \cdot k_{об} = 1$, для трансформаторов и аппаратов $k_{об} = 1$); Φ — магнитный поток на полюс машины или стержень трансформатора, определяемый по действительной кривой поля.

Магнитный поток

$$\Phi = S_c B,$$

где S_c — сечение потока; B — расчетное значение магнитной индукции в воздушном зазоре машины B_c или сердечника трансформатора B_c .

Для электрических машин получаем

$$\Phi = a_i \tau l' B_c,$$

где a_i — коэффициент полюсного перекрытия; τ — полюсное деление: $\tau = \frac{\pi D}{2p}$; D — внешний диаметр якоря для машины постоянного тока и внутренний диаметр статора (диаметр расточки статора) для машины переменного тока в их обычном исполнении; l' — расчетная длина машины.

Для трансформаторов

$$\Phi = k_\Phi k_{ст} \frac{\pi D^2}{4} B,$$

где k_Φ — коэффициент формы сечения стержня; $k_{ст}$ — коэффициент заполнения пакета сталью; D — диаметр окружности, описанной вокруг стержня (диаметр стержня).

Введем понятие линейной нагрузки — эффективное значение тока, приходящееся на единицу длины окружности якоря, расточки статора или длины стержня трансформатора A . Для машин $A = \frac{2mI\omega}{\pi D}$; для трансформаторов $A = \frac{I\omega}{l_c}$, где l_c — длина стержня трансформатора.

Подставляя в формулу расчетной мощности значения из других формул и объединяя коэффициенты в постоянные, получаем: для машин

$$\frac{D^2 I_n}{S} = \frac{k}{AB_s} = C_A = \frac{1}{k_A};$$

для трансформаторов

$$\frac{D^2 I_f}{S'} = \frac{k_1}{AB_c} = C_T = \frac{1}{k_T}.$$

C_A и k_A получили соответственно названия машинной постоянной Арнольда и коэффициента использования машины, аналогично C_T и k_T — постоянная или коэффициент использования трансформатора или аппарата.

Полученные выражения показывают, что мощность машины (трансформатора) при заданной частоте вращения пропорциональна размерам машины (трансформатора). Однако для геометрически подобных машин и трансформаторов с учетом $l = \Delta S_M$, где Δ — плотность тока, S_M — полное сечение проводников обмотки, получаем: $S' \equiv B \Delta S_c S_M \equiv I^2$ при одинаковых плотностях тока в обмотках и магнитных индукциях в сердечниках машин и трансформаторов (l — линейный размер машины или трансформатора).

Увеличение мощности машины (трансформатора) при известных размерах сердечника и заданной частоте вращения может быть достигнуто за счет увеличения магнитной индукции (использование магнитной системы) и линейной нагрузки (использование электрической части). Однако увеличение индукции приводит к возрастанию потерь в стали, увеличению намагничивающего тока, повышению потерь в обмотках возбуждения от намагничивающего тока, снижению $\cos \varphi$, η и изменению электрических свойств машины или аппарата.

Увеличение линейной нагрузки приводит к увеличению нагрева обмоток, изменению электрических параметров обмоток и нарушению экономического соотношения между потерями в стали и в обмотке.

Таким образом, выбор удельных электромагнитных нагрузок — самая ответственная часть расчета электрооборудования при ремонте.

Практикой электромашиностроения установлены оптимальные значения удельных нагрузок. Магнитная индукция в воздушном зазоре машины колеблется в пределах от 0,3 до 1,0 Тл; в теле статора — от 1,0 до 1,5 Тл; в зубцах статора — от 1,3 до 2,0 Тл; в стержнях трансформаторов — от 1,0 до 1,75 Тл.

Среднее значение линейной нагрузки для обмоток электрических машин составляет (100...600) 10^2 А/м и для трансформаторов — (150...550) 10^2 А/м.

Чем больше размеры машины, выше частота ее вращения, луч-

ше степень охлаждения, тем большими принимаются значения индукции и линейной нагрузки.

Определенную особенность имеет электромагнитная нагрузка — плотность тока, с которой тесно связана линейная нагрузка. В отличие от магнитной индукции и линейной нагрузки плотность тока в обмотках трансформаторов незначительно увеличивается с ростом их мощности. Крупные машины имеют плотность тока 2...3 А/мм², средние — 3...4 А/мм², малые — 6...7 А/мм². Выбор плотности тока определяется типом и размерами машины, ее напряжением, системой вентиляции и т. п.

Имея данные обмера сердечника машины или трансформатора, можно составить такую единую (для любого вида электрооборудования) последовательность расчета:

- 1) выбор значения магнитной индукции в воздушном зазоре машины или в стержне трансформатора;
- 2) выбор типа обмотки;
- 3) определение числа витков параллельной ветви якоря машины постоянного тока, фазы статора машины переменного тока, фазы обмотки для каждого из напряжений трансформатора;
- 4) определение числа эффективных проводов в пазу (для машины);
- 5) выбор коэффициента заполнения паза машины или окна трансформатора обмоткой;
- 6) определение сечения изолированного, а по нему голого провода обмотки;
- 7) выбор плотности тока в обмотках и определение тока обмоток;
- 8) определение кажущейся и, если нужно, активной мощности;
- 9) определение параметров машины или трансформатора (ток холостого хода, к. п. д. и т. д.).

Поскольку при частных пересчетах исходным для расчета является единое для любого электрооборудования уравнение э.д.с., формулы для пересчета обмоток электрических машин, трансформаторов и аппаратов на другое напряжение и другую частоту сети оказываются также одинаковыми. Формулы для пересчета обмоток машин постоянного и переменного тока при переходе на другую частоту вращения отличаются только поправочным коэффициентом, учитывающим наиболее полное использование активной стали статора машины переменного тока.

§ 2. Предварительные расчеты

Определение оптимальной частоты вращения асинхронной машины. В отличие от синхронной машины, частоту вращения которой легко определить по числу полюсов ротора, асинхронные машины по заявке потребителя могут быть выполнены на любую возможную частоту вращения. Однако расчетчик при отсутствии паспорта и обмотки машины должен определить и сообщить потре-

бителю оптимальную частоту вращения машины, при которой наиболее полно используется сталь сердечника и отсутствуют отрицательные явления (шум, прилипания и заедания на определенной частоте вращения и т. п.). В подавляющем большинстве случаев оптимальная частота вращения совпадает с паспортной. Оптимальную частоту вращения (число полюсов $2p$) определяют следующим образом. Магнитный поток машины

$$\Phi = \alpha_i B_0 \frac{\pi D}{2p} l,$$

где l — полная длина сердечника машины, м.

С другой стороны, поток машины

$$\Phi = 2B_x h_x l' k_{CT},$$

где B_x — магнитная индукция в теле статора, Тл; h_x — высота тела статора, м; $l' = l - 0,5n_k b_k$ — расчетная длина сердечника статора, м; n_k — число вентиляционных каналов; b_k — ширина вентиляционных каналов.

Приравнивая эти выражения, получаем

$$2p = \frac{\alpha_i B_0 D \pi l}{2B_x k_{CT} h_x l'}.$$

Выполнение машины постоянного тока на заданную частоту вращения. Критерием возможности выполнения машины постоянного тока на заданную частоту вращения служит окружная скорость якоря v_n и коллектора v_k :

$$v_n = \frac{\pi D_n n}{60},$$

где D_n — внешний диаметр якоря, м.

Допустимо иметь: $v_n \leq 17$ м/с для машин с ременной передачей; $v_n \leq 45 \dots 50$ м/с для нормальных машин; $v_n \leq 60 \dots 90$ м/с для турбогенераторов.

Выполнение машины постоянного тока на заданное напряжение. Возможность выполнения машины постоянного тока на заданное напряжение определяется значением среднего напряжения между двумя коллекторными пластинами:

$$U_{cp} = \frac{2pU}{k},$$

где U — заданное напряжение, В; k — число коллекторных пластин.

Допустимо: $U_{cp} \leq 18 \dots 21$ В для малых машин мощностью до 10 кВт; $U_{cp} \leq 14 \dots 18$ В для средних машин мощностью до 100 кВт; $U_{cp} \leq 11 \dots 14$ В для больших машин мощностью свыше 100 кВт.

Для машин, имеющих компенсационную обмотку, допускается увеличение U_{cp} на 40...50%.

Полные расчеты электрических машин и трансформаторов приведены в практикуме по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования [23]. Поэтому ниже приводятся только частные случаи расчета электрооборудования.

§ 3. Частные случаи пересчета электросборования

Пересчет электрооборудования на другое напряжение (на примере электрической машины). Из уравнения э. д. с. вытекает, что при пересчете обмоток на другое напряжение требуется изменить число эффективных проводников в пазу машины и их сечение. При этом мощность при сохранении неизменным коэффициента заполнения пара остается прежней.

Число эффективных проводов в пазу

$$N_{\text{н}} = N_{\text{ст}} \frac{U_{\text{н}}}{U_{\text{ст}}},$$

где $N_{\text{н}}$ и $N_{\text{ст}}$ — соответственно новое и старое число проводов в пазу; $U_{\text{н}}$ и $U_{\text{ст}}$ — новое и старое напряжение машины, В.

Сечение и диаметр провода

$$q_{\text{н}} = q_{\text{ст}} \frac{U_{\text{ст}}}{U_{\text{н}}}; \quad d_{\text{н}} = d_{\text{ст}} \sqrt{\frac{U_{\text{ст}}}{U_{\text{н}}}},$$

где $q_{\text{н}}$ и $q_{\text{ст}}$ — соответственно новое и старое сечение провода, мм²; $d_{\text{н}}$ и $d_{\text{ст}}$ — диаметр нового и старого провода, мм.

Размеры и число катушек при пересчете остаются неизменными.

Приведенная выше методика пересчета машин на другое напряжение целиком применима для машин постоянного тока (с учетом изложенного выше напряжения между коллекторными пластинами), включая пересчет обмотки якоря, обмоток возбуждения и обмоток дополнительных полюсов, а также для трансформаторов и катушек электроаппаратуры.

Перевод двигателя на другую частоту вращения. Такой перевод требует изменения числа витков в катушках, изменения числа полюсов машины, что, в свою очередь, приводит к изменению магнитной индукции в спинке статора. При этом значение индукции может оказаться недопустимо большим, и вследствие этого сталь машины перегреется.

При уменьшении частоты вращения индукция может оказаться очень малой, что ведет к недоиспользованию активной стали двигателя. Для сохранения магнитной индукции в теле статора в определенных пределах при пересчете обмоток на другую частоту вращения в формулу вводится поправочный коэффициент (0,85...0,65).

Чем более значительна разница между старой и новой частотой вращения, тем меньшим принимается значение поправочного коэффициента.

При переводе двигателя на повышенную частоту вращения новое число эффективных проводов и их сечение определяют из следующих выражений:

$$N_{\text{н}} = N_{\text{ст}} \frac{n_{\text{ст}}}{(0,85 \dots 0,65) n_{\text{н}}}; \quad q_{\text{н}} = q_{\text{ст}} \frac{(0,85 \dots 0,65) n_{\text{н}}}{n_{\text{ст}}},$$

где $n_{\text{ст}}$ и $n_{\text{н}}$ — старая и новая синхронная частота вращения машины.

Пренебрегая некоторым увеличением механических потерь машины за счет повышения ее частоты вращения, можно определить новое значение мощности из выражения

$$P_{\text{н}} = P_{\text{ст}} \frac{(0,85 \dots 0,65) n_{\text{н}}}{n_{\text{ст}}}.$$

При уменьшении частоты вращения двигателя новое число эффективных проводов и их сечение определяются из выражений

$$N_{\text{н}} = N_{\text{ст}} \frac{(0,85 \dots 0,65) n_{\text{ст}}}{n_{\text{н}}}; \quad q_{\text{н}} = q_{\text{ст}} \frac{n_{\text{н}}}{(0,85 \dots 0,65) n_{\text{ст}}}.$$

Пренебрегая в данном случае уменьшением механических потерь, новое значение мощности

$$P_{\text{н}} = P_{\text{ст}} \frac{n_{\text{н}}}{(0,85 \dots 0,65) n_{\text{ст}}}.$$

При изменении частоты вращения машины изменяются размеры катушек и число катушечных групп.

Новые шаг обмотки и число пазов на полюс и фазу определяют по следующим формулам:

$$y_{\text{н}} = y_{\text{ст}} \frac{n_{\text{н}}}{n_{\text{ст}}}; \quad q_2 = q_1 \frac{n_{\text{н}}}{n_{\text{ст}}},$$

где q_1 и q_2 — соответственно старое и новое число пазов на полюс и фазу.

Приведенная методика пересчета машины на другую частоту вращения применима и для машин постоянного тока, включая пересчет обмотки якоря, последовательной обмотки возбуждения и обмоток дополнительных полюсов. Поскольку в машинах постоянного тока при изменении частоты вращения значение магнитного потока сохраняется прежним, вводить поправочный коэффициент 0,85...0,65 не требуется. При переводе машины постоянного тока на другую частоту вращения изменяются пропорционально изменению скорости механические потери и потери на перемагничивание стали якоря. Однако проследить за изменением этих потерь трудно, и при пересчете это обычно не учитывают.

Необходимо иметь в виду, что в работе плохо выполненных асинхронных двигателей с короткозамкнутыми роторами наблюдаются отклонения от нормы, затрудняющие их эксплуатацию, а

иногда и вовсе препятствующие ей; к числу таких отклонений можно отнести следующие:

— прилипание: двигатель при подключении к источнику питания не приходит во вращение; однако, если его вывести из неподвижного состояния (на что иногда требуется значительное усилие), он разворачивается и в дальнейшей работе никаких отклонений от нормы не наблюдается;

— застревание: при пуске двигатель сначала разворачивается нормально, но достигает только определенной частоты вращения, обычно составляющей около $1/7$ номинальной. Если каким-нибудь посторонним воздействием привести ротор во вращение со скоростью, несколько превышающей это значение, то в дальнейшем двигатель развернется до номинальной частоты вращения и будет работать нормально;

— гудение: в процессе пуска двигатель издает резкий шум, который по достижении нормальной частоты вращения либо пропадает, либо переходит в более или менее сильное гудение.

Причиной всех перечисленных отклонений является неудачное соотношение числа полюсов $2p$ и чисел пазов на статоре и роторе z_1 и z_2 .

Эти отклонения далеко не всегда бывают полностью устранены даже в двигателях заводского изготовления, тем более они вероятны при перемотках, например, на новое число полюсов.

Поэтому при перемотке или переключении на новое число полюсов или при перемотке односкоростного двигателя на двухскоростной, а тем более при расчете двигателя, первоначальное число полюсов которого неизвестно, следует проверять соотношение чисел пазов статора и ротора.

Для такой проверки можно предложить следующие правила.
1. Числа пазов статора и ротора не должны быть ни равны, ни кратны одно другому, так как иначе неизбежно прилипание. Практически может идти речь о числе пазов ротора, вдвое меньшем или вдвое большем числа пазов статора, так как большие кратности не вероятны. Это правило может быть записано в следующем виде:

$$z_2 \neq z_1; \quad z_2 \neq 1/2 z_1; \quad z_2 \neq 2z_1.$$

2. Число пазов ротора не должно делиться на утроенное число полюсов, так как в противном случае также произойдет прилипание, хотя и не в столь сильной степени, как в предыдущем случае. Это правило может быть записано в следующем виде:

$$z_2 \neq 2p \cdot 3i,$$

где i — любое целое число.

3. Число пазов ротора должно удовлетворять следующему неравенству:

$$z_2 \neq 2p \cdot 3i + 2p = 2p(3i + 1),$$

так как в противном случае возникает опасность застревания, если только $i \leq 3$.

4. Если число пазов статора и ротора близки одно к другому, то они не должны отличаться одно от другого ни на число пар полюсов, ни на число полюсов:

$$z_2 \neq z_1 + p; \quad z_2 \neq z_1 + 2p.$$

Если число пазов ротора близко к половине пазов статора, то оно не должно отличаться от половины на число пар полюсов:

$$z_2 \neq \frac{1}{2} z_1 + p.$$

Если число пазов ротора близко к удвоенному числу пазов статора, то оно не должно отличаться от этого удвоенного числа полюсов на число полюсов: $z_2 \neq 2z_1 + 2p$.

Несоблюдение одного из этих трех условий приводит к застреванию.

5. Число пазов ротора, увеличенное или уменьшенное на единицу, не должно делиться на число полюсов, что может быть записано так:

$$z_2 \neq 2p3i \pm 1.$$

Кроме того, оно должно удовлетворять еще и неравенству

$$z_2 \neq 2p3i \pm (2p \pm 1).$$

Если одно из этих двух условий не соблюдено, то двигатель может гудеть.

Перевод машин на другую частоту сети. При этом могут быть два случая:

а) изменение частоты сети не сопровождается изменением числа полюсов;

б) изменение частоты сети связано с изменением числа полюсов.

В первом случае частота вращения машины изменяется пропорционально частоте сети, во втором случае частота вращения машины остается без изменения.

Число эффективных проводов в пазу и их сечение после пересчета определяют из следующих выражений:

$$N_{II} = N_{CT} \frac{f_{CT}}{f_{II}}, \quad q_{II} = q_{CT} \frac{f_{II}}{f_{CT}},$$

где f_{CT} и f_{II} — старое и новое значение частоты.

При переводе машины на другую частоту сети изменяются потери в стали машины. Изменения этих потерь трудно определить, и при пересчетах обычно этого не делают. В этих условиях мощность машины изменяется пропорционально изменению частоты сети.

Если пересчет не сопровождается изменением числа полюсов машины, то число катушечных групп и их размеры после пересчета сохраняют прежними.

При пересчете, связанном с изменением числа полюсов машины, число катушечных групп и их размеры изменяют:

$$y_n = y_{ст} \frac{f_{ст}}{f_n}; \quad q_2 = q_1 \frac{f_{ст}}{f_n},$$

где $y_{ст}$ и y_n — соответственно старый и новый шаг обмотки; q_1 и q_2 — старое и новое число пазов на полюс и фазу машины.

Естественно, что после перевода машины на другую частоту сети изменится ее к. п. д. и $\cos \varphi$. Их новые значения можно определить при послеремонтных испытаниях машины.

Перевод машины постоянного тока из режима двигателя в режим генератора. Для получения номинального напряжения генератора нужно увеличить частоту вращения машины или, что обычно нежелательно, число витков обмотки якоря:

$$n_{г} = n_{д} \frac{U_{г} + \Delta U}{U_{д} + \Delta U} \quad \text{или} \quad N_{н} = N_{ст} \frac{U_{г} + \Delta U}{U_{н} + \Delta U},$$

где $n_{г}$ и $n_{д}$ — соответственно частота вращения генератора и двигателя; $U_{г}$ и $U_{д}$ — номинальное напряжение генератора и двигателя (например, 230 и 220 В); ΔU — падение напряжения в цепи якоря генератора (двигателя):

$$\Delta U (\%) = \frac{\Delta U}{U_{н}} 100 = (10 \dots 2) \%$$

Чем выше мощность машины, тем меньше значение ΔU (%); $N_{н}$ и $N_{ст}$ — соответственно новое и старое число проводников в пазу машины.

Приблизительно пересчет можно выполнять по следующим формулам:

$$n_{г} = (1,4 \dots 1,25) n_{д} \quad \text{или} \quad N_{н} = (1,4 \dots 1,25) N_{ст}.$$

Чем выше мощность машины, тем требуется меньшее увеличение частоты вращения или числа проводников.

Мощность машины при переходе на другой режим работы изменяется в такой зависимости:

$$P_{г} = P_{д} \frac{n_{г}}{n_{д}},$$

где $P_{г}$ и $P_{д}$ — соответственно мощность генератора и двигателя.

Пересчет асинхронного двигателя при увеличении воздушного зазора. Увеличение воздушного зазора между статором и ротором асинхронного двигателя приводит к увеличению тока холостого хода, снижению $\cos \varphi$ и полезной мощности двигателя. Путем изменения параметров обмотки можно сохранить такие технические показатели двигателя, как $\cos \varphi$ и к. п. д.

После пересчета мощность на валу электродвигателя уменьшится по сравнению с паспортной, но будет значительно выше, чем мощность неперемотанного двигателя с увеличенным воздушным зазором.

Пересчет ведут в такой последовательности.

1. Определяют увеличение магнитного сопротивления воздушного зазора:

$$R_{\delta} = \frac{\delta_2 k_2 - \delta_1 k_1}{\delta_1 k_1}.$$

Здесь δ_1 и δ_2 — воздушный зазор нормальный и повышенный (новый); k_1 и k_2 — коэффициенты воздушного зазора, старый и новый, определяемые из формулы

$$k = \frac{(t_{z_c} + 10\%)(t_{z_p} + 10\%)}{(b_{z_c} + 10\%)(b_{z_p} + 10\%)},$$

где t_{z_c} и t_{z_p} — зубчатый шаг статора и ротора; b_{z_c} и b_{z_p} — максимальная ширина зуба статора и ротора (по коронкам).

Ориентировочно допускается повышение воздушных зазоров до 20%.

2. Определяют увеличение магнитного сопротивления всей магнитной цепи:

$$\Delta R_{\mu} \approx 0,75 \Delta R_{\delta}.$$

3. Подсчитывают новое число витков и их сечение. Выражения э. д. с. электродвигателя до и после перемотки имеют следующий вид:

$$E_{ст} = 4,44 f \omega_{ст} k_{об} \Phi_{ст} 10^{-8}; \quad (1)$$

$$E_{н} = 4,44 f \omega_{н} k_{об} \Phi_{н} 10^{-8}, \quad (2)$$

где $\omega_{ст}$ и $\omega_{н}$ — число витков до и после перемотки;

$\Phi_{ст}$ и $\Phi_{н}$ — магнитный поток электродвигателя до и после перемотки.

М. д. с. до и после перемотки:

$$F_{ст} = I_{\mu_{ст}} \omega_{ст} = \Phi_{ст} R_{\mu_{ст}}; \quad (3)$$

$$F_{н} = I_{\mu_{н}} \omega_{н} = \Phi_{н} R_{\mu_{н}}, \quad (4)$$

где $R_{\mu_{ст}}$ и $R_{\mu_{н}}$ — магнитное сопротивление потоку электродвигателя с нормальным и увеличенным воздушным зазором.

Из формул (1) и (2)

$$\omega_{н} = \omega_{ст} \frac{\Phi_{ст}}{\Phi_{н}},$$

заменяя $\Phi_{ст}$ и $\Phi_{н}$ их составляющими из формулы (3) и (4), получают:

$$\omega_{н} = \omega_{ст} \frac{I_{\mu_{ст}} \omega_{ст}}{R_{\mu_{ст}}} \cdot \frac{R_{\mu_{н}}}{I_{\mu_{н}} \omega_{н}}$$

или

$$\omega_{\text{н}} = \omega_{\text{ст}} \sqrt{\frac{R_{\mu_{\text{н}}} I_{\mu_{\text{ст}}}}{R_{\mu_{\text{ст}}} I_{\mu_{\text{н}}}}}.$$

Увеличенное сопротивление $R_{\mu_{\text{н}}} = R_{\mu_{\text{ст}}} + \Delta R_{\mu}$, или в относительных единицах $R_{\mu_{\text{н}}} = 1 + \Delta R_{\mu}$.
Тогда

$$\omega_{\text{н}} = \omega_{\text{ст}} \sqrt{(1 + \Delta R_{\mu}) \frac{I_{\mu_{\text{ст}}}}{I_{\mu_{\text{н}}}}}. \quad (5)$$

При сохранении постоянства токов намагничивания, то есть при

$$I_{\mu_{\text{ст}}} = I_{\mu_{\text{н}}}, \quad \omega_{\text{н}} = \omega_{\text{ст}} \sqrt{1 + \Delta R_{\mu}},$$

сечение витков после перемотки

$$q_{\text{н}} = \frac{q_{\text{ст}}}{\sqrt{1 + \Delta R_{\mu}}}, \quad (6)$$

где $q_{\text{ст}}$ — сечение витков электродвигателя до перемотки.

Новая мощность на валу электродвигателя

$$P_{\text{н}} = \frac{0,9 P_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \Delta R_{\mu}}}, \quad (7)$$

где 0,9 — постоянный коэффициент; $P_{\text{п}}$ — паспортная мощность электродвигателя.

При этом $\cos \varphi$ электродвигателя после перемотки будет выше, чем у неперемотанного электродвигателя, но несколько ниже паспортного значения.

При сохранении после перемотки паспортного значения $\cos \varphi$ электродвигателя, то есть при $\cos \varphi_{\text{н}} = \cos \varphi_{\text{ст}} = \cos \varphi$

$$I_{\mu_{\text{ст}}} = I_{\mu_{\text{ст}}} \sin \varphi = \Delta q_{\text{ст}} \sin \varphi = \Delta \frac{k}{\omega_{\text{ст}}} \sin \varphi; \quad (8)$$

$$I_{\mu_{\text{н}}} = I_{\mu_{\text{н}}} \sin \varphi = \Delta q_{\text{н}} \sin \varphi = \Delta \frac{k}{\omega_{\text{н}}} \sin \varphi, \quad (9)$$

где Δ — одинаковая плотность тока в обмотках до и после перемотки; k — коэффициент пропорциональности.

Выражения (5), (6) и (7) с учетом формул (8) и (9) принимают вид

$$\omega_{\text{н}} = \omega_{\text{ст}} (1 + \Delta R_{\mu});$$

$$q_{\text{н}} = \frac{q_{\text{ст}}}{1 + \Delta R_{\mu}};$$

$$P_{\text{н}} = \frac{P_{\text{п}}}{1 + \Delta R_{\mu}}.$$

§ 1. Общие положения. Транспортировка электрооборудования. Технические условия на прием в ремонт. Склад ремонтного фонда

Срок жизни электрооборудования довольно длителен. Так, срок жизни асинхронных электродвигателей общепромышленного исполнения в сельском хозяйстве, как и в промышленности, равен примерно 20 годам, а срок жизни распределительных трансформаторов — 30...40 годам. За этот срок в процессе эксплуатации одни из элементов электрооборудования (например, изоляция) стареют, другие (подшипники, крепежные детали и т. п.) изнашиваются.

Процессы старения и износа выводят электродвигатель из строя. Эти процессы зависят от многих факторов: условий и режима работы, технического обслуживания электрооборудования и т. д. Одна из причин выхода электрооборудования из строя — аварийные режимы: перегрузка рабочей машины, попадание в рабочую машину посторонних предметов, неполнофазные режимы работы электрооборудования, значительные колебания напряжения питания и т. п.

Электрооборудование, вышедшее из строя, восстанавливают, то есть ремонтируют.

В отличие от промышленности, где системой планово-предупредительного ремонта и обслуживания оборудования установлено три вида ремонтов — текущий, средний и капитальный, в сельском хозяйстве принято только два вида ремонтов — текущий и капитальный.

Капитальный ремонт электродвигателей, пускозащитной аппаратуры, сварочных генераторов и трансформаторов, а также автотракторного электрооборудования, используемых в сельском хозяйстве, возложен на предприятия Госкомсельхозтехники. В этой системе появились крупные электроремонтные заводы, технология которых все более приближается к промышленной.

Ремонт распределительных трансформаторов возложен на предприятия энергоремонта энергетических систем, в ведении которых находится подавляющее число работающих на селе трансформаторов.

При капитальном ремонте электрооборудования в основной объем работ по его выполнению входит замена обмоток. При этом специализация работ еще не всегда достаточна. Один рабочий выполняет ряд операций, например заготовку пазовой изоляции, ее укладку в пазы, изготовление катушек, их укладку и т. п. В этих условиях себестоимость ремонта электрооборудования остается еще достаточно высокой и часто приближается к стоимости нового оборудования.

Ремонт электрооборудования делится на два вида: централизованный и нецентрализованный.

1. Централизованный ремонт электрооборудования проводят в крупных электроремонтных мастерских или на электроремонтных заводах, где обеспечивается соблюдение передовой технологии, есть квалифицированные кадры, необходимые материалы и механизмы. Качество ремонта электрооборудования на крупных предприятиях так высоко, что надежность отремонтированной машины может не уступать надежности новой, поскольку в результате хорошо проведенной дефектации и анализа данных об эксплуатации машины могут быть определены и усилены ее наиболее слабые места.

2. Децентрализованный ремонт проводят в небольших мастерских, не имеющих преимуществ крупных специализированных предприятий.

Ученые Всесоюзного научно-исследовательского и проектно-технологического института электромашиностроения (ВНИПТИЭМ) показали, что централизованный ремонт электродвигателей 1.3-го габаритов нерентабелен, а децентрализованный ремонт неэкономичен даже для двигателей 5-го габарита.

При существующей в настоящее время технологии ремонта ремонт электродвигателей после 3-го и 5-го габаритов соответственно при централизованном и децентрализованном ремонте, как правило, экономически оправдан и стоимость отремонтированного электродвигателя меньше стоимости нового. Кроме того, значительный выход из строя электродвигателей (от 15 до 40%), работающих в сельском хозяйстве, а также еще недостаточные мощности электропромышленности по выпуску электродвигателей вынуждают прибегать к ремонту электродвигателей малой мощности. Ремонт электрооборудования позволяет избежать простоев технологического оборудования и потерь от этих простоев.

Транспортировка электрооборудования в ремонт — составная часть эксплуатации, и ей нужно уделять соответствующее внимание. При надлежащей организации ремонта ремонтное предприятие объединения Госкомсельхозтехники по заранее составленному и согласованному с руководством плану присылает в хозяйство транспорт, демонтирует подлежащее ремонту электрооборудование и принимает его в ремонт. На место снятого монтируют доставленное с завода аналогичное отремонтированное электрооборудование (из обменного фонда ремонтного завода). В этом случае транспорт для перевозки электрооборудования имеет соответствующие приспособления, предохраняющие оборудование от механических повреждений и проникновения влаги. Аналогичные приспособления должен иметь и транспорт хозяйств, если последние сами доставляют электрооборудование на обменный пункт или ремонтный завод.

Согласно техническим условиям на сдачу в капитальный ремонт асинхронных электродвигателей, последние направляют в капитальный ремонт со следующими неисправностями: межвитковыми замыканиями в обмотках, замыканиями обмоток на корпус или

между фазами, обрывом обмоток, обугливанием изоляции обмоток, изгибом вала, износом или повреждением его шеек, износом или повреждением посадочных мест в подшипниковых щитах, дисбалансом ротора, обрывом бандажей ротора, повреждением контактных колец, требующим их разборки, трещинами в корпусе и подшипниковых щитах, снижением сопротивления изоляции, если оно не восстанавливается сушкой.

Электродвигатели, сдаваемые в ремонт, должны быть тщательно очищены от пыли и грязи. С валов электродвигателей должны быть сняты шкивы, шестерни, муфты. Электродвигатели принимаются в ремонт полностью укомплектованными всеми основными узлами и деталями в соответствии с комплектностью, установленной техническими условиями: станина, статор с обмоткой, ротор с обмоткой, подшипниковые щиты, вентилятор и его кожух, подшипники и их крышки, коробка выводов, траверза, щеткодержатели, контактные кольца.

Допускается принимать в ремонт электродвигатели при частичном отсутствии метизов: винтов, гаек, шайб и т. п.

В капитальный ремонт не принимаются электродвигатели с трещинами на корпусе, превышающими 50% его длины, трещинами на посадочных местах подшипниковых щитов, с повреждением свыше 30% активной стали.

В ремонт не принимаются электродвигатели, отремонтированные ранее с нарушениями технологии ремонта.

При приеме электродвигателя в капитальный ремонт его осматривают и оформляют приемо-сдаточный акт.

Поскольку отдельные повреждения могут быть обнаружены только после разборки электродвигателя, ремонтное предприятие имеет право составлять односторонний акт о невозможности или нецелесообразности ремонта. Акт высылают заказчику, который обязан в месячный срок вывезти электродвигатель. По истечении этого срока электродвигатели сдают в металлолом. Электрооборудование, ожидающее ремонта, должно храниться в помещении складского типа или под навесом.

Отремонтированные электродвигатели подвергают консервации согласно ГОСТ 23216—78. Конец вала и опорную часть фланцевого щита (у фланцевых электродвигателей) покрывают лаком или антикоррозионной смазкой. Конец вала обертывают промасленной бумагой. Окна в щитах закрывают водонепроницаемой бумагой, а клеммные щитки — кожухом.

Консервация должна обеспечивать сохранность законсервированных поверхностей в течение 6 месяцев при хранении электродвигателей в сухих помещениях складского типа.

Ремонтное предприятие гарантирует исправную работу электродвигателей при соблюдении потребителем условий эксплуатации, транспортировки и хранения в течение 12 месяцев. На каждый электродвигатель выдается гарантийный талон, подписываемый начальником ОТК ремонтного предприятия.

В случае выявления неисправности в работе электродвигателя по вине ремонтного предприятия заказчик имеет право в течение установленного гарантийного срока предъявить рекламацию, составленную комиссией хозяйства и ремонтного предприятия, в которой указывает ремонтный номер электродвигателя, его паспортные данные, дату ремонта, наименование ремонтного предприятия, номер заказа и номер талона, срок работы электродвигателя, обнаруженные неисправности и возможные их причины.

При согласии ремонтного предприятия акт рекламации может быть подписан только представителями хозяйства, а при разногласии между хозяйством и ремонтным предприятием он должен быть подписан также инспектором Госсельтехнадзора.

Чтобы приблизить ремонт к поточному производству, повысить производительность труда рабочих и качество отремонтированного электрооборудования, склад ремонтного фонда необходимо оборудовать переносными контейнерами (металлическими ящиками). Контейнеры строго специализированы, в отдельном контейнере хранится электрооборудование только одного типа и размера, например закрытые электродвигатели мощностью 0,6 кВт, напряжением 380/220 В, с частотой вращения 1500 об/мин и т. п. Регулируя подачу соответствующих контейнеров с электрооборудованием в ремонтное отделение, можно достигнуть определенной цикличности в работе ремонтного предприятия. Например, первая неделя (или ее половина или день) — ремонт только закрытых электродвигателей мощностью 0,6 кВт, напряжением 380/220 В, с частотой вращения 1500 об/мин, вторая неделя — ремонт аналогичных электродвигателей мощностью 1,7 кВт и т. д.

Преимущества такого циклического ремонта очевидны: ремонтный персонал длительное время работает с одним и тем же изделием, используя один и тот же инструмент и приспособления, приобретает необходимые навыки в работе, что сокращает затраты времени на выполнение соответствующих операций, уменьшает число ошибок и отклонений от технологии ремонта, улучшает качество ремонта.

§ 2. Схема технологического процесса ремонта электрических машин

Схема технологического процесса ремонта асинхронных двигателей и синхронных генераторов приведена на рисунке 69 и особых пояснений не требует.

Поскольку настоящее пособие рассчитано на студентов факультетов электрификации сельхозвузов, будущих инженеров-электриков, в пособии описаны наиболее важные, по мнению авторов, вопросы ремонта электрических машин. Кроме того, необходимо учесть, что Государственный Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ) разработал

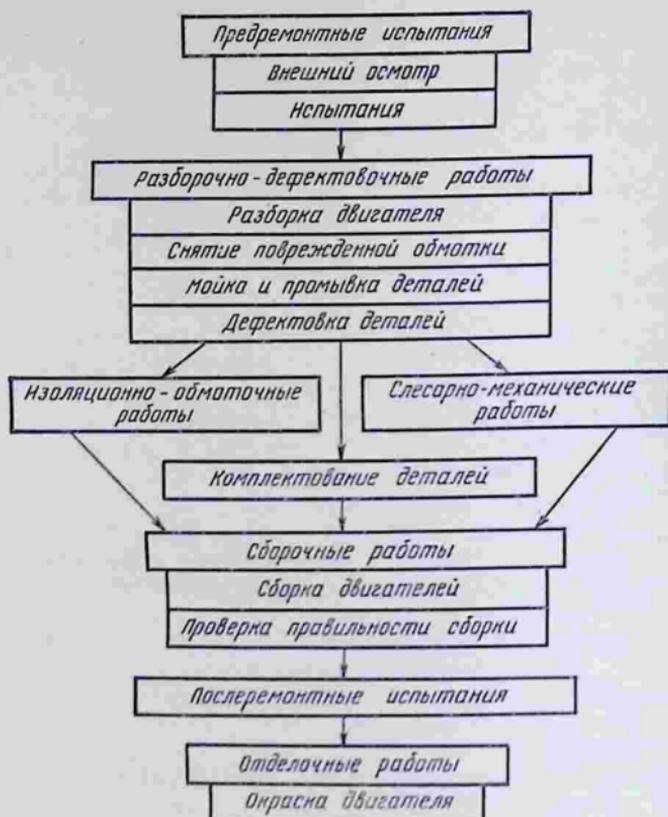


Рис. 69. Схема технологического процесса ремонта короткозамкнутых электродвигателей.

технологические карты и руководства по капитальному ремонту асинхронных электродвигателей, сварочного и автотракторного электрооборудования. Эти документы составлены в виде таблиц, в которых перечислены номера и содержание всех технологических операций, технические условия и указания по проведению ремонта, приводятся сведения об оборудовании, приспособлениях и инструменте, необходимом для ремонта. Технологические карты дополняются схемами, разрезами, рисунками.

§ 3. Техническая документация на ремонтируемое электрооборудование

В ремонтном производстве составляется различная техническая документация, на разных заводах и в отдельных ведомствах она неодинакова, хотя по содержанию отдельные документы близки, а

часть их даже на одних и тех же заводах дублируется. Так, Всесоюзное объединение «Главэлектроремонт» МЭТП СССР рекомендует своим предприятиям заполнять после дефектации машин дефектовочную записку и ведомость дефектов.

В содержание записки входят паспортные данные машины до ремонта и пожелания заказчика по их изменению. В ней содержатся все размеры сердечников статора и ротора и обмоточные данные статора и ротора (тип обмотки, число пазов, марка провода, число витков в катушке, число параллельных проводников в витке, число катушек в группе, фазе, шаг обмотки, число параллельных ветвей, сопряжение фаз, расход провода в килограммах, вылет лобовых частей, класс нагревостойкости).

В ведомость дефектов записывают все необходимые операции по всей машине, например, станина — заварить трещины, отремонтировать замковые поверхности, приварить лапы, отремонтировать крепежные детали и рым-болт и т. д.

К каждой ремонтируемой машине прилагается технологическая карта, в которой приведены сведения о заказчике, техническая характеристика машины с ее паспортными данными, значение сопротивления фаз, сечение выводных концов и класс изоляции, габарит сердечника статора и число пазов, сведения об обмоточных данных до ремонта и по расчету, сведения о механической части — ее состоянии, сведения о контроле обмоток и стеновых испытаниях.

Технологическую карту подписывают техник по дефектации, мастер, инженер-расчетчик и работники ОТК.

Дежурный по проведению сушки заполняет журналы сушки электрических машин, в содержание которого входят: заказчик, номер заказа, паспортные данные машины, место сушки, сведения о начале сушки, о температуре отдельных элементов машины, о сопротивлении изоляции обмоток статора и ротора и об окончании сушки. Окончательные результаты заверяют ответственный за проведение сушки и начальник участка.

Отдельно ОТК ведет книгу протоколов испытаний каждой отремонтированной машины. ОТК также составляет акт о передаче успешно прошедших испытания машин на склад готовой продукции. В акте указываются ремонтный номер машины, тип, мощность, класс изоляции, напряжение, частота вращения, форма исполнения, преискурант, стоимость ремонта, заказчик. Акт подписывают начальник ОТК и заведующий складом.

Примерно такой же формы составляется акт выдачи готовой продукции с указанием полной суммы расходов на ремонт. Акт подписывают руководство ремонтного предприятия и представитель заказчика.

Техническая документация по ремонту трансформаторов более обширна в целом и по содержанию отдельных документов. Наприменные данные, данные обмоток ВН и НН и размеры магнитопровода, но и масса масла, выемной части и общая масса трансформатора.

Записку подписывают лица, которые наматывали обмотки и собирали трансформатор, и мастер.

Отдельно заполняют протокол анализа трансформаторного масла, в котором указывают заказчика, место, причину и дату отбора пробы, длительность работы масла и результаты физико-химических и электрических анализов масла. Дают заключение о качестве масла. Протокол подписывают лицо, проводившее анализ, и инженер участка.

На каждый трансформатор заполняют формуляр ремонта (ре-визии), содержащий следующие сведения: о заказчике, паспорте трансформатора, работах и измерениях, выполненных в процессе ремонта по всем узлам и частям трансформатора (бак, радиатор, расширитель, выхлопная труба, арматура бака и расширителя, транспортные приспособления, вводы ВН, СН и НН, уплотнения крышки фланцев арматуры и вводов, магнитопровод и его заземление, обмотки ВН, СН, НН и состояние их запрессовки, переключатель напряжения, детали изоляции обмоток, отводы и схема, масло, дополнительные данные), о сушке (метод сушки, ее начало и конец, температура при сушке, осмотр и опрессовка после сушки, сопротивление постоянному току обмоток по фазам всех обмоток при температуре измерений), о предварительных испытаниях (определение коэффициентов трансформации по всем обмоткам и отпайкам, сопротивление изоляции, проверка электрической прочности изоляции), об окончательных испытаниях (данные опытов холостого хода и короткого замыкания, проверка коэффициента трансформации, сопротивление всех обмоток по фазам при измеряемой температуре, группа соединения обмоток, отношения емкостей обмоток при разных частотах и т. д., испытание изоляции приложенным напряжением, испытание витковой изоляции, прочность масла). При этом в формуляр заносят данные по использованным в испытаниях приборам. Формуляр подписывают лицо, проводившее испытания, мастер ОТК, мастер цеха и главный инженер.

Журналы сушки трансформатора и протокол анализа и испытания трансформаторного масла прилагают к формуляру.

На отремонтированные трансформаторы составляют акты приемки готовых работ. В процессе ремонта на них составляют лимитную карту-отчет на расход материалов, на основе которой определяется себестоимость ремонта трансформаторов.

§ 4. Дефектация электрооборудования. Методы определения неисправностей

Дефектация — это определение неисправностей машины в процессе эксплуатации или ремонта. Различают две стадии — дефектация машины в сборе и после ее разборки.

Дефектация машины или аппарата — одна из наиболее ответственных операций, так как невыявленные неисправности могут привести к разрушению машины в эксплуатации, аварии и к увели-

чению продолжительности и стоимости работ при повторном ремонте.

Электрооборудование характеризуется наличием двух частей — электрической и механической. При дефектации механической части электрооборудования проверяют состояние крепежных деталей, убеждаются в отсутствии трещин в той или иной части, определяют износы и сравнивают с допустимыми по нормам, измеряют воздушные зазоры и сверяют с табличными значениями и т. д.

Все обнаруженные отклонения от норм фиксируют и вносят в ведомость дефектов или ремонтную карту, формы которых на различных заводах разные, однако содержание практически одинаково.

Неисправности в электрической части машины или аппарата скрыты от глаз человека, поэтому их обнаружить труднее. Число возможных неисправностей в электрической части ограничено тремя:

- 1) обрыв электрической цепи;
- 2) замыкание отдельных цепей между собой или замыкание цепи (цепей) на корпус;
- 3) замыкание между собой части витков обмотки (так называемое междувитковое или витковое замыкание).

Эти неисправности можно определить при помощи следующих четырех методов:

- 1) метода контрольной лампы или сопротивления (омметра);
- 2) метода симметрии токов или напряжений;
- 3) метода милливольтметра;
- 4) метода электромагнита.

Рассмотрим определение неисправностей в собранной машине или аппарате.

Обрыв в обмотке без параллельных цепей можно определить при помощи контрольной лампы. Если в обмотке две или несколько параллельных ветвей, обрыв определяют омметром или амперметром и вольтметром. Полученное значение сопротивления обмотки (например, обмотки якоря машины постоянного тока) сравнивают с расчетным или паспортным его значением, после чего делают заключение о целостности отдельных ветвей обмотки. Обрывы в многофазных машинах и аппаратах, не имеющих параллельных ветвей, могут быть определены методом симметрии токов или напряжений, но этот метод более сложен по сравнению с предыдущим.

Несколько сложнее определить обрыв в стержнях короткозамкнутых роторов асинхронных электродвигателей. В этом случае прибегают к методу симметрии токов.

Опыт по определению обрывов в стержнях заключается в следующем. Ротор электродвигателя затормаживают и к статору его подводят пониженное в 5...6 раз по сравнению с номинальным напряжением. В каждую из фаз обмотки статора включают амперметр. При исправных обмотках статора и ротора показания всех трех амперметров одинаковы и не зависят от положения ротора. При обрыве стержней в роторе показания приборов различны, чаще всего

два амперметра показывают одинаковые токи, а третий — меньший ток. При медленном вращении ротора от руки показания приборов изменяются, пониженное значение тока будет следовать за поворотом ротора и переходит из одной фазы в другую, затем в третью и т. д.

Объясняется это тем, что при повороте ротора поврежденные стержни переходят из зоны одной фазы в зону другой. Заторможенный асинхронный электродвигатель подобен трансформатору в режиме короткого замыкания. Обрыв стержня равносителен переводу зоны повреждения из режима короткого замыкания в режим нагрузки, что и ведет к уменьшению тока в обмотке статора в той ее части, которая взаимодействует с поврежденным стержнем.

При обрыве нескольких стержней ротора показания всех амперметров могут быть различны, но они так же, как было сказано выше, будут циклически меняться и следовать один за другим (переходя по фазам обмотки статора) при медленном вращении ротора. Различные показания амперметров, не зависящие от поворота ротора, указывают на повреждения или дефекты обмотки статора, но не ротора.

Место обрыва в обмотках роторов короткозамкнутых электродвигателей определяют при помощи электромагнита. Ротор, установленный на электромагнит, покрывают листом бумаги, на которую насыпают стальные опилки. При включении электромагнита опилки располагаются вдоль целых стержней и отсутствуют в зоне обрыва.

Обрывы в обмотках якорей машин постоянного тока определяют при помощи омметра (милливольтметра).

Замыкание отдельных электрических цепей электрооборудования на корпус или между собой определяют при помощи контрольной лампы. Часто в этом случае используют мегомметры. Последним следует отдать предпочтение, так как ими легко определить замыкание с относительно большим сопротивлением в месте контакта цепей между собой или с корпусом.

Замыкание между секциями, лежащими в разных слоях пазов якоря, а также замыкание секций на корпус определяют при помощи омметра (милливольтметра).

Витковое замыкание в многофазных электромашинах и аппаратах определяют методом симметрии токов и напряжений или специальными приборами, например типа ЕЛ-1.

Так, витковые замыкания в обмотках трехфазных электродвигателей определяют на холостом ходу их работы при помощи метода симметрии токов (показания всех трех амперметров, включенных в каждую фазу обмотки статора, при отсутствии витковых замыканий должны быть одинаковыми), а витковые замыкания в обмотках статоров синхронных генераторов определяют на холостом ходу при помощи метода симметрии напряжений (показания всех трех вольтметров, включенных на зажимы обмотки статора, должны быть одинаковы).

При определении витковых замыканий в обмотках трехфазных трансформаторов прибегают как к методу симметрии токов, так и напряжений.

Витковые замыкания в обмотках однофазных электромашин и трансформаторов определяют омметром или амперметром. При определении витковых замыканий в катушках возбуждения машин постоянного тока целесообразно

для повышения чувствительности испытания использовать не постоянный, а переменный ток пониженного напряжения, выбрав соответствующие приборы (амперметр и вольтметр).

Следует обратить внимание на то, что витковое замыкание в обмотках электрооборудования, работающего на переменном токе, сопровождается резким увеличением тока в поврежденной обмотке, что, в свою очередь, приводит к очень быстрому нагреву обмотки до недопустимых пределов, обмотка начинает дымить, обугливается и сгорает.

Место витковых замыканий в обмотках статоров электрических машин переменного тока определяется при помощи электромагнита. Место витковых замыканий в обмотках якорей машин постоянного тока определяют омметром (милливольтметром).

Обычно поврежденные катушки трансформаторов не дефектируют, но, если это необходимо, может быть использован метод электромагнита (рис. 70).

Подробно дефектация машин постоянного и переменного тока и трансформаторов при ремонте описаны в практикуме по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования.

§ 5. Разборка электрических машин. Удаление старой обмотки

Разборка электрических машин на составные части не представляет затруднений. Необходимо только максимально механизировать выполнение отдельных операций, применяя электро- или гидрогайковерты, съемники, тали и т. п., а также соблюдать осторожность при выемке роторов крупных машин, чтобы не повредить ротором железо пакетов статора или его обмотку.

Наиболее трудоемкая операция при разборке — удаление старой обмотки. Это делают следующими методами: механическим, термомеханическим, термохимическим, химическим и электромагнитным.

1. Сущность механического метода заключается в том, что корпус электрической машины с пакетами стали статора и обмоткой устанавливают на токарный или фрезерный станок и резцом или

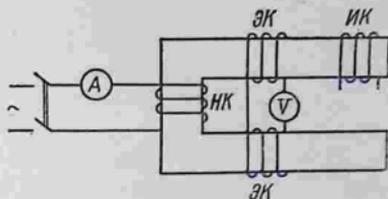


Рис. 70. Схема для определения витковых замыканий в катушках аппаратуры.

фрезой обрезают одну из лобовых частей обмотки. Затем при помощи электро- или гидропривода удаляют (вытягивают) из пазов оставшуюся часть обмотки (крюком за оставшуюся лобовую часть ее). Однако при таком удалении обмотки в пазах есть остатки изоляции, и требуются дополнительные затраты на их удаление.

2. При термомеханическом методе удаления старой обмотки электрическую машину со срезанной лобовой частью обмотки помещают в обжиговую печь при температуре 300...350°C и выдерживают там несколько часов. После этого оставшаяся часть обмотки легко удаляется. Часто машину помещают в печь со всей обмоткой (ни одна из лобовых частей обмотки не срезана), но в этом случае после обжига обмотку из пазов удаляют только вручную.

Равномерное тепловое поле в обжиговой печи создать трудно. Нередко в печи происходит возгорание изоляции обмоток, приводящее к резкому увеличению температуры в печи, особенно в некоторых ее зонах. При повышении температуры выше допустимой могут покоробиться корпус машины, особенно это относится к алюминиевым корпусам. Поэтому машины с алюминиевыми корпусами обжигать не рекомендуется. Некоторые предприятия исследуют распределение температур внутри печи при ее работе и определяют зоны, в которых можно расположить электрические машины с алюминиевыми корпусами.

При обжиге в печи происходит отжиг листов стали статора, заметно уменьшаются удельные потери в стали и повышается к.п.д. машины. Но при этом выгорают лаковые пленки между пакетом стали и корпусом и между отдельными листами стали. Последнее приводит к тому, что после 2...3 обжигов нарушается тугая посадка между пакетом и корпусом, пакет начинает проворачиваться в корпусе машины, ослабляется прессовка пакета. Поэтому прогрессивным можно признать обжиг изоляции обмоток машины в расплавах солей (каустика или щелочи).

Обжиг в расплавах солей проводят при температуре 300°C (573K) при алюминиевых корпусах и 480°C (753 K) при чугунных в течение нескольких минут. Полное отсутствие доступа воздуха к объекту обжига, а также возможность регулирования температуры в необходимых пределах позволяют применять этот способ обжига и для машины с алюминиевыми корпусами. Коробление последних исключается полностью.

3. При термохимическом методе удаления обмотки электрическую машину, подготовленную к обжигу (одна из лобовых частей обмотки срезана), опускают в емкость с раствором каустической соды или щелочи. Машина находится в растворе при температуре 80...100°C в течение 8...10 ч, после чего ее обмотку можно легко удалить из пазов пакетов статора. При таком методе никакого коробления корпусов произойти не может. Этот способ особенно оправдывает себя при масляно-битумной изоляции обмоток.

4. При химическом методе электрическую машину с обмоткой помещают в емкость с моющей жидкостью типа МЖ-70. Эта жид-

кость летучая и токсичная, поэтому, работая с ней, необходимо соблюдать правила техники безопасности. Технология удаления обмоток такова: загрузка емкости ремонтируемыми машинами, герметизация емкости, заполнение ее жидкостью, процесс реакции, на который обычно расходуется ночное нерабочее время, удаление жидкости, продувка емкости, освобожденной от жидкости, чистым воздухом, разгерметизация и открытие емкости, выемка электрических машин и удаление обмотки из пазов статора.

5. Электромагнитный метод заключается в следующем. Изготавливают однофазный трансформатор со съемным якорем и одним съемным, точнее сказать, заменяемым стержнем. На незаменимый стержень наматывают намагничивающую обмотку на напряжение сети. На второй съемный стержень надевают один или несколько статоров двигателей, изоляцию обмоток которых необходимо обжечь. Диаметр заменяемого стержня подбирают таким образом, чтобы получить наименьший (порядка 5 мм) зазор между ротором статора и стержнем. Метод удобен тем, что при нем можно регулировать температуру нагрева статора путем изменения подводимого к намагничивающей обмотке напряжения или переключения числа ее витков. При этом методе можно обжигать машины как с чугунными, так и с алюминиевыми корпусами.

§ 6. Ремонт обмоток, сушка и пропитка

По конструктивному исполнению обмотки электрических машин делятся на три вида: концентрические, всыпные и шаблонные. Последние, в свою очередь, подразделяются на обмотки с непрерывной компаундированной изоляцией и гильзовой. Их применяют в крупных машинах с напряжением 3,6 кВ и выше, поэтому в данной книге они не рассматриваются.

Практически ремонт обмоток заключается в удалении старой и выполнении новой обмотки, имеющей те же или улучшенные данные пазовой изоляции и обмоточного провода.

Концентрическая обмотка наиболее устаревшая, трудоемкая и находит применение только в электрических машинах с закрытыми пазами. Изготовление этой обмотки состоит из следующих основных операций: изготовление при помощи шаблонов пазовых изоляционных гильз, материал для которых выбирают в зависимости от напряжения машины и класса ее нагревостойкости; закладка гильз в пазы; заполнение гильз металлическими или деревянными шпильками по размерам изолированного обмоточного провода; выбор схемы намотки, при которой получают наименьшие напряжения между рядом лежащими проводниками в пазу машины; подготовка провода к намотке катушек, заключающаяся в удалении изоляции на концах подготовленного к намотке катушки провода и парафинирование его для облегчения протаскивания в пазах; намотка двумя обмоточками наименьшей по размерам катушки с применением специальных шаблонов для формирования лобовых частей ка-

тушки; намотка остальных катушек, их соединение и изолирование.

При изготовлении всыпных обмоток сначала заготавливают и укладывают в пазы изоляционные пазовые коробочки. При этом следует иметь в виду, что в машинах старых серий пазовые коробочки состоят из двух слоев электрокартона и одного слоя лакокраски. На смену им пришли пазовые коробочки, состоящие из пленкоэлектрокартона, а в настоящее время в малых машинах новых серий используется только один тонкий слой изоляционной пленки. В этих условиях использование новых материалов, в том числе и обмоточных проводов, при ремонте электрических машин старых серий значительно увеличивает их надежность и при необходимости может сопровождаться заметным увеличением мощности машины. Наоборот, при ремонте машин новых серий необходимо использовать только соответствующие качественные материалы и обмоточные провода, иначе ремонт машины приведет к снижению ее надежности, ухудшению технико-экономических показателей и резкому снижению ее мощности. Кроме того, необходимо учитывать узкую специализацию и механизацию работ на электромашиностроительных заводах и более низкий уровень технологии работ на ремонтных предприятиях, что также сказывается на качестве работ, коэффициенте заполнения паза машины и ее надежности. Следующей операцией по выполнению обмотки является намотка на специальные, регулируемые по размерам шаблоны катушек. Далее следует укладка катушек в пазы, установка клиньев, в качестве которых в малых по мощности машинах новых серий могут быть также использованы пленка, соединение и бандажирование обмотки изоляционными шнурами или чулками с установкой изоляционных межфазовых прокладок на лобовых частях обмотки. Если необходимо соединить отдельные катушки, их изолируют линолеумными, полихлорвиниловыми или стеклолаковыми трубками.

Соединения между катушками могут быть выполнены или пайкой (соединяемые концы облуживают, скручивают и опускают в ванну с расплавленным припоем), или контактной сваркой при помощи ручных клещей с графитовым электродом.

Сушку обмоток электрических машин, предшествующую пропитке и после нее, проводят в сушильных печах (конвективный способ), потерями в стали статора или ротора (индукционный способ), потерями в обмотках (токовый способ) и инфракрасным облучением (радиационный способ).

Обычно электроремонтные предприятия имеют вакуумные или атмосферные сушильные печи, объем которых определяется из расчета $0,02...0,04 \text{ м}^3/\text{кВт}$ мощности машин, для которых печь предназначена. Нагреватель может быть электрическим, в том числе и ламповым, паровым или газовым. Мощность нагревателя определяется из расчета примерно 5 кВт на 1 м^3 объема печи. В печи должна обеспечиваться рациональная циркуляция воздуха. Таким образом, мощность сушки тем больше, чем больше число и мощ-

ность подвергающихся сушке машин. Продолжительность сушки колеблется от нескольких часов (6...8) для малых машин и до нескольких десятков часов (70...100) для больших машин.

Сушка машин индукционным способом требует намагничивающей обмотки. Этот способ удобен для сушки крупных машин, которые лучше сушить на местах установки или ремонта, а не в сушильной печи. Этот способ экономичнее предыдущего как по затратам мощности, так и по продолжительности сушки.

Сушка токовым способом еще более выгодна. Продолжительность сушки сокращается по сравнению с сушкой в печах в 5...6 раз, а расход электроэнергии — в 4 и более раз. Недостатком этого способа сушки является необходимость иметь регулируемый источник питания нестандартного напряжения. При этом схемы соединения обмоток могут быть различными. Температура сушки и ее режим зависят от класса нагревостойкости машины и марки пропиточного лака. Об окончании сушки можно судить по установившемуся сопротивлению высушиваемой изоляции (при данной неизменной температуре).

Наиболее распространенный способ пропитки — погружение подогретой до 60...70°C обмотки в лак примерно той же температуры. Число пропиток зависит от назначения машины, в сельскохозяйственном производстве рекомендуется проводить до трех пропиток. Продолжительность пропиток составляет 15...30 мин первой и 12...15 мин последней.

После вакуумной сушки для особо ответственных машин можно применять пропитку под давлением. Но для обеспечения первого и второго процессов требуется относительно сложное оборудование.

§ 7. Электромеханический ремонт

К электромеханическим работам относятся: ремонт корпусов машин, подшипниковых щитов, валов, подшипниковых узлов, активного железа статора или ротора, коллекторов, контактных колец, щеточных аппаратов и короткозамкнутых механизмов, полюсов, беличьих клеток и выводных коробок. Кроме того, к этим работам относятся бандажирование роторов и якорей и их балансировка.

В условиях электроремонтных предприятий Госкомсельхозтехники железо статора и ротора, полюса и беличьих клетки роторов обычно не ремонтируют. Машины с такими повреждениями считаются неремонтопригодными, в ремонт не принимаются и списываются на металлолом.

Ремонт корпусов и подшипниковых щитов, как правило, заключается в устранении изломов и трещин и выполняется при помощи сварки.

В настоящее время практически все электрические машины имеют подшипники качения, обслуживание и ремонт которых значительно проще, чем подшипников скольжения.

Подшипники качения при их износах обычно заменяют. Если нет подшипников необходимых типоразмеров, можно применить подшипники с другими размерами, но при этом новый подшипник должен по своей грузоподъемности соответствовать заменяемому. При этом используют внутренние или наружные вспомогательные (ремонтные) втулки, посадка (сопряжение) которых осуществляется запрессовкой (с натягом), а также применяются вспомогательные упорные кольца под наружное кольцо подшипника.

Роликовые подшипники могут быть заменены шариковыми в случаях, если при работе машины не наблюдаются значительные осевые усилия (разбег вала механизма не превышает разбега электродвигателя).

Шарикоподшипники имеют напряженную посадку на вал, поэтому перед посадкой на вал их прогревают в масляной ванне до температуры 80...90°C.

Ремонт коллектора можно проводить с разборкой и без нее. Ремонт без разборки заключается в обточке (на токарном станке или в собственных подшипниках), продоразживании, шлифовании и полировании. Продоразживание коллектора (при помощи фрезы на станке, ножовочного полотна или специального скребка) выполняют при каждом ремонте коллектора, если даже не делали его прочку.

При ремонте или замене изоляции между коллекторными пластинами следует стремиться не разбирать коллектор полностью, а пользоваться разъемным хомутом, что значительно сокращает затраты труда на разборку и особенно на сборку коллектора. У низковольтных машин новые манжеты можно формовать непосредственно при сборке коллектора без применения специальных прессформ.

Отремонтированный полностью собранный коллектор прогревают в печи до температуры 150...160°C, испытывают на станке на механическую прочность при частоте вращения в 1,5 раза выше номинальной и проверяют на отсутствие замыканий между пластинами и между пластинами и втулкой.

Контактные кольца ремонтируют, если их толщина в радиальном направлении достигает 8...10 мм (менее 50% первоначальной). Конструкция узла с контактными кольцами может быть самой разнообразной: разрезная втулка, изоляция из электрокартона, гибкого миканита и кольца; неразрезная втулка, разрезная гильза из листовой стали, изоляция из электрокартона и кольца; неразрезная втулка с изолирующими фигурными кольцами, между которыми располагаются кольца машины; неразрезная втулка, изоляция из микафолия или миканита и кольца. Все конструкции узлов контактных колец, кроме последнего, собирают с натягом в холодном состоянии.

Контактные кольца проверяют на отсутствие замыканий между ними и корпусом и биение (радиальное биение не должно быть более 0,1 мм при частоте вращения до 1000 об/мин и 0,05 мм — при

большой, а осевое биение не должно превышать 3...5% толщины кольца).

Ремонт щеточных аппаратов (траверса с пальцами, щеткодержатели с пружинами и обоймами и щетки) чаще всего заключается в восстановлении изоляции пальцев щеткодержателей, надежного контакта между жгутами и щеткой, регулировке пружин щеткодержателя и установке, регулировке и приработке щеток. Изоляцией щеткодержателей являются гетинаксовые торцевые шайбы и бакелитизированная бумага на шейке пальца толщиной согласно технологической карте ремонта.

Выбор щеток зависит от назначения машины и особенностей ее работы. Рекомендуется в возбудителях машины переменного тока устанавливать электрографитовые щетки (ЭГ), допускающие плотность тока 9...12 А/см² и линейную скорость вращения 40...45 м/с; в крановых двигателях — угольно-графитовые (Т и УГ) с параметрами 6 А/см² и 10 м/с и электрографитовые; в низковольтных генераторах (до 20 В) — электрографитовые и медно-графитовые (М и МГ) с параметрами 14...20 А/см² и 15...25 м/с; в автомобильных электромашинках — медно-графитовые; в машинах с контактными кольцами — графитовые (Г), электрографитовые и медно-графитовые.

Нажатие щеток рекомендуется в пределах от 1500 до 2000 Па.

Ремонт короткозамыкающего механизма заключается в восстановлении изношенных боковых ребер короткозамыкающего кольца, пальцев вилки и пружинных контактов путем сварки и наплавки или же замены изношенной детали новой.

Для бандажирования обмоток статоров машин относительно небольшой мощности используют чулки или киперную ленту. Лобовые части обмоток различных катушек и фаз скрепляют бандажом в единый целый узел, который после пропитки и сушки становится монолитным. Это обеспечивает необходимую механическую прочность обмотки при пусках и резких перегрузках машины. В крупных машинах применяют так называемые бандажные кольца, их располагают поверх внешних лобовых частей катушек машины. Каждую катушку киперной лентой привязывают к кольцу.

Особую роль играет бандажирование обмоток роторов и якорей машин, которые испытывают не только электродинамические нагрузки во время работы машины, но и центробежные усилия. Роторы и якоря бандажируют на токарных или специальных бандажных станках, снабженных устройствами для натяжения стальной луженой бандажной проволоки.

Между обмоткой и проволокой укладывают слой изоляции из миканита и электрокартона. При диаметре проволоки от 0,6 до 2 мм натяжение проволоки должно составлять от 200 до 2000 Н, число витков бандажа рассчитывают на центробежные усилия, которые не должны превышать 400 Н на 1 мм² сечения проволоки. Бандажи проплавляют по всей окружности для превращения их в сплошное кольцо.

Балансировку машин (совмещение центра тяжести ротора или якоря с осью вращения) выполняют с полностью собранным ротором (якорем). Балансировка делится на статическую и динамическую. Первой подвергают все машины, второй — машины с частотой вращения свыше 1000 об/мин, а также машины с удлиненными роторами. Динамической балансировке предшествует статическая. Статическую балансировку выполняют на двух узких шлифованных линейках, уложенных строго горизонтально на массивных опорах. Динамическую балансировку выполняют на специальных балансировочных станках или в отдельно расположенных подшипниковых опорах, смонтированных на упругих (резиновых) прокладках или же в собственных подшипниках. В последнем случае места расположения балансировочных грузов и их массу определяют методом проб, например методом трех точек.

§ 8. Способы наращивания поверхностей

В ремонтной практике детали из различных материалов восстанавливают при помощи ручной электродуговой и газовой наплавки и сварки, автоматической наплавки и сварки под слоем флюса, вибродуговой наплавки в струе охлаждающей жидкости, сварки и наплавки в среде защитных газов, электроискровой обработки и наращивания как на воздухе, так и в жидкой среде, металлизации, осталивания, химического никелирования.

При ремонте электродвигателей относительно большой объем составляют работы по наращиванию посадочных поверхностей. Для этих целей широко применяется вибродуговая наплавка порошковой проволокой и наплавка в среде углекислого газа. Первую применяют для восстановления валов, осей и цапф диаметром более 30 мм. При этом твердость наплавного слоя в 1,5...2 раза выше по сравнению с твердостью слоя, полученного при вибродуговой наплавке в жидкости. При этом улучшается качество слоя наплавки.

После наплавки делают проточку и полируют поверхность, а если необходимо, фрезеруют пазы (шлицевые канавки).

Для чистовой обработки поверхностей валов взамен шлифовки, упрочения поверхностного слоя на глубину 0,2...0,3 мм, повышения износостойкости и усталостной прочности детали применяется электромеханический метод обработки, заключающийся в том, что при обработке детали на токарном станке на деталь и резец подается напряжение 2...6 В и в месте их контакта протекает ток 350...1500 А.

Чугунные станины и подшипниковые щиты наплавляют газовой сваркой. Перед наплавкой детали подогревают в печи до температуры 300...400°C, при этом электроды применяют чугунные, в качестве флюса — буру или другие смеси.

После наплавки детали обжигают при той же температуре в течение 4...6 ч, после чего медленно охлаждают в выключенной печи

(12...14 ч). В последнее время на ремонтных предприятиях системы Госкомсельхозтехника для восстановления посадочных мест под подшипник в корпусах деталей применяют установки для гальванического электролиза.

Восстановлению можно подвергать отверстия диаметром от 50 до 150 мм. Принцип действия установок основан на процессе электролиза, сопровождающемся осаждением металла на одном из электродов. Деталь, подлежащую восстановлению, соединяют с отрицательным полюсом источника питания напряжением от 24 до 30 В, например, преобразователем ПСО-300. В восстанавливаемое отверстие вводят электрод, обмотанный материалом, способным впитывать (абсорбировать) электролит. Электролит подают на абсорбирующий материал при помощи насоса с подачей 20 л/мин. При вращении электрода с частотой от 20 до 40 об/мин (при помощи любого вертикально-сверлильного станка) в абсорбирующем материале создается электролитная ванна, в которой и происходит процесс электролиза. Комплект электродов состоит из стальных деталей, обмотанных абсорбирующим материалом, в качестве которого может быть использована хлопчатобумажная ткань, например киперная лента слоем до 2,5...3 мм. Зазор между абсорбирующим слоем и поверхностью наращиваемого отверстия составляет 1,5...2 мм.

Для наращивания деталей, изготовленных из стали и чугуна, применяется электролит следующего состава: сернокислый цинк — 600...700 г на литр теплой воды и борная кислота — 20...40 г на литр теплой воды. Кислотность (концентрация) электролита $pH=3...4$, ее проверяют ежемесячно, и один раз в месяц электролит полностью заменяют.

Для алюминиевых деталей в качестве электролита применяют раствор 150 г сернокислого алюминия в литре воды. Кислотность электролита $pH=3...3,5$.

Плотность тока при травлении, которое предшествует наращиванию, составляет 1...1,5 А/см² (продолжительность травления 8...10 с) и при наращивании 2...3 А/см². Скорость наращивания составляет 20...30 мкм/мин.

Подготовка подшипникового щита к восстановлению заключается в очистке его мелкой наждачной бумагой, обезжиривании ветошью, смоченной в бензине или ацетоне, и сушке. При описанном способе наращивания нужно изолировать стол сверлильного станка, чтобы использовать корпус и стол в качестве зажимов различной полярности. В целях техники безопасности электродвигатель изолируют от корпуса станка. Рабочий, обслуживающий установку, работает в очках, резиновом фартуке и резиновых перчатках. Пол у станка выложен резиновыми ковриками. Устанавливать и снимать детали разрешается только при отключенном напряжении.

В последнее время для восстановления посадочных мест под подшипники применяют эластомеры, в частности ГЭН-150 (В). Для растворения 20 весовых частей эластомера необходимо 100 весо-

вых частей ацетона. Восстанавливаемую деталь очищают от грязи, коррозии, обезжиривают, очищают ацетоном и сушат. Эластомер через трубку наносят на деталь.

Глава III

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА ТРАНСФОРМАТОРОВ

§ 1. Схема технологического процесса ремонта трансформаторов

Принципиально схема технологического процесса ремонта трансформаторов отличается от аналогичной схемы ремонта электрических машин только наличием масляного хозяйства. Слив масла при разборке трансформатора, его испытание и химический анализ, при необходимости сушка его и регенерация дополняют процесс ремонта. Однако наличие масляного хозяйства повышает пожарную опасность и взрывоопасность ремонтного производства и требует усиленного внимания к вопросам техники безопасности.

§ 2. Транспортировка трансформаторов. Прием трансформатора в ремонт

Погрузка трансформаторов на автомобили должна быть механизирована и вестись строго с соблюдением правил безопасности. Применяемые при этом механизмы, приспособления и инструменты должны быть исправны, проверены и соответствовать рабочей нагрузке.

При перемещении трансформатора по наклонному настилу применяют листовую или иного сечения сталь. Угол наклона трансформатора при погрузке не должен превышать 15° , тросы крепят за его верхнюю часть, чтобы избежать его опрокидывания. С обратной стороны трансформатора применяют оттяжку.

При подъеме и спуске трансформатора стропы подъемных механизмов крепят за скобы (рымы), приваренные к стенке бака. Нельзя поднимать трансформатор в сборе за кольца выемной (активной) части. При транспортировке на автомобилях трансформатор нужно крепить в кузове при помощи растяжек и деревянных клиньев. Наклон трансформатора при перевозке должен быть не более 15° . Выемную часть трансформатора поднимают только в том случае, если температура активной его части не более чем на 5° ниже температуры помещения, иначе влага, содержащаяся в теплом воздухе помещения, соприкасаясь с холодным сердечником трансформатора, будет конденсироваться на его поверхности. Это может сильно увлажнить сердечник, потребуется его сушить. Обычно трансформаторы мощностью до 1000 кВ·А достаточно выдерживать в помещении до разборки в течение суток. Во избежание возможного увлажнения нежелательно надолго оставлять активную часть трансформатора (вне ремонта) на открытом воздухе помеще-

ния. При относительной влажности воздуха 50...60% длительность такого простоя не должна превышать 12...8 ч.

Каждому трансформатору присваивают ремонтный номер, на картонной бирке отмечают этот номер, тип трансформатора и необходимые данные.

§ 3. Дефектация трансформаторов

В собранном виде трансформатор осматривают, определяют наличие и состояние термометров, пробивных предохранителей, пробок, крышек, воздухоосушителей и т. п., убеждаются в отсутствии течи масла, проверяют состояние вводов, отбирают пробу масла для его испытания на пробу и химический анализ. Затем сливают масло до уровня ниже уплотняющей прокладки крышки, начинают поднимать выемную часть, одновременно промывая ее струей масла (можно с забором из собственного бака и стоком в него же). При этом продолжают осмотр и дефектацию активной части.

Неисправности электрических цепей трансформаторов (обрыв, замыкание между цепями или цепями и корпусом и витковое замыкание) легко определить при помощи мегомметра или контрольной лампы, метода симметрии токов или напряжений и метода падения напряжения. Оценить же состояние изоляции отдельных узлов трансформаторов чрезвычайно трудно. Например, состояние электрокартона определяют на образцах, вырезанных из нескольких мест (ярма, секций и т. п.), сгибая образец пальцами сначала под прямым углом, а затем без сдавливания места сгиба до 180°. По наличию или отсутствию трещин и изломов судят о качестве изоляции.

Качество волокнистой изоляции можно определить также по характерным изломам и укорочению длины элементарного волокна, рассматривая образцы изоляции (например, изоляции витка) под микроскопом. Чем больше доля поврежденных волокон (по классификации от 5 до 80%), тем хуже состояние изоляции.

В некоторых случаях состояние изоляции оценивают по механической прочности, определяемой «поскабливанием» ногтем или пожом, и по степени ее потемнения. Однако хорошо пропитанная с предельной степенью старения изоляция часто не поддается поскабливанию, а при деформации обмотки, например, при сквозных коротких замыканиях целиком разрушается и отваливается от проводника. Свежая, но увлажненная изоляция может быть механически прочной, но иметь малое собственное сопротивление, а составившаяся изоляция может иметь значительное сопротивление и твердость и даже механическую прочность.

Неслучайно в настоящее время для определения степени увлажнения изоляции трансформаторов применяют целый комплекс измерений: испытание на пробу и сокращенный химический анализ масла, измерение сопротивления изоляции R_{60} и определение коэф-

фициента абсорбции R_{60}/R_{15} , измерение $\operatorname{tg}\delta$ и абсорбционных характеристик.

Л. М. Рыбаков доказал, что в трансформаторах в различных режимах их работы всегда существует тепло- и массообмен между маслом и твердой изоляцией, а между некоторыми физико-химическими, механическими и диэлектрическими характеристиками существуют жесткие корреляционные связи. Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что наличие воды, количество водорастворимых кислот и $\operatorname{tg}\delta$ — это в совокупности универсальный показатель состояния изоляционной системы трансформаторов: увлажнение, окисление, старение

§ 4. Ремонт активной части

Ремонт активной части, помимо дефектации, включает в себя следующие работы: демонтаж крышки и отводов; расширтовку верхнего ярма; съём обмоток и изоляции; ремонт магнитопровода; изготовление, установку изоляции, насадку и расклиновку обмоток; шихтовку верхнего ярма; опрессовку обмоток и ярма; пайку, изолирование и крепление отводов; межоперационный контроль. При ремонте трансформаторов необходимо стремиться как можно меньше разбирать активную часть, так как любая разборка не только увеличивает трудовые затраты, но и сопровождается разрушениями изоляции обмоток и стали сердечника, что ведет к снижению надежности трансформатора.

В распределительных трансформаторах в настоящее время нашли применение цилиндрические одно- и двухслойные обмотки на напряжение до 0,5 кВ и многослойные цилиндрические обмотки на напряжение до 35 кВ. Оба типа обмоток просты в производстве, но недостаточно прочны при воздействии на них осевых сжимающих усилий.

Следует учесть также, что с 50-х годов промышленность выпускает трансформаторы с сердечником из холоднокатаной стали и алюминиевыми обмотками. Поэтому, как правило, трансформаторы старых серий с горячекатаной сталью сердечника и бумажной изоляцией между его листами не рекомендуется применять, так как они имеют повышенные потери холостого хода. Речь прежде всего идет о ремонте трансформаторов с повреждением сердечника, а также медных обмоток. Ремонт трансформаторов, как и электрических машин, ведут в строгом соответствии с технологическими картами, в которых перечислены ремонтные операции и указаны приборы, инструмент и приспособления, необходимые для ремонта.

§ 5. Сушка и пропитка обмоток

Примерно до 60-х годов электромашиностроительные заводы и ремонтные предприятия пропитывали обмотки трансформаторов. Затем учеными ВЭИ было доказано, что от пропитки электроизо-

лирующие свойства обмоток улучшаются очень мало, и в целях улучшения технологии изготовления обмоток пропитка их лаками не рекомендовалась. В настоящее время почти все электромашиностроительные заводы не пропитывают обмотки трансформаторов.

Однако следует учесть, что пропитка обмоток улучшает механическую прочность обмоток. При обычной пропитке лак проникает в первые 2...3 слоя обмотки и частично цементирует ее. При использовании ультразвука при пропитке обмоток лак более глубоко проникает в изоляцию, заметно улучшаются характеристики изоляции и механическая прочность обмоток.

Сушить обмотки трансформатора нужно обязательно как при замене их новыми, так и после их ремонта. Это можно делать как в стационарных печах, так и на месте ремонта трансформаторов.

Сушку можно проводить с применением вакуума (более совершенной сушки) и без него, при наличии естественной или искусственной вентиляции. Нагреватели в стационарных печах могут быть самыми различными: паровыми, индукционными, электрическими. Чаще всего применяются электрические нагреватели, их обычно рассчитывают по эмпирическим формулам. Например,

$$P_{\text{наг}} = \frac{0,4S_{\text{н}} + 2000}{100},$$

где $P_{\text{наг}}$, $S_{\text{н}}$ — мощность нагревателя (кВт) и номинальная мощность трансформаторов, одновременно подвергаемых сушке, кВ·А.

Подачу вентилятора ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяют из расчета $Q_{\text{в}} = 0,6 P_{\text{н}}$ при температуре печи около 100°C , температуре окружающего воздуха $10...15^{\circ}\text{C}$ и объеме печи $2,5...3,5 \text{ м}^3$.

Поверхность нагревателя определяют из выражения $\frac{S_{\text{н}}}{V_{\text{н}}} = 0,4$.

По этому же выражению выбирают материал нагревателя и получают все его остальные характеристики и мощность печи.

Сушку трансформатора в собственном баке можно выполнять горячим маслом с фильтрацией последнего, горячим воздухом от калорифера (воздуходувки), током короткого замыкания, потерями в баке (при помощи намагничивающей обмотки) и током нулевой последовательности. Последние два способа сушки получили наибольшее распространение. Они довольно подробно описаны в практике к лабораторным работам [23].

К прогрессивным способам относят сушку инфракрасным облучением. Ее можно вести с применением стационарной камеры с нагревателями и без нее, в помещении или на открытом воздухе. Нагрев осуществляют лампами инфракрасного излучения с зеркальным отражением, которые монтируют на расстоянии не всех сторон активной части трансформатора на расстоянии не менее 300 мм. Плотность энергии одной лампы составляет $0,3 \text{ Вт}/\text{см}^2$, достигая для крупных ламп $0,4 \text{ Вт}/\text{см}^2$. В трансформаторах I и II габаритов общая мощность ламп, необходимых для

сушки, колеблется от 6 до 12,5 кВт, продолжительность сушки — от 18 до 28 ч. При данном способе сушки влага движется от внутренних слоев к наружным, что ускоряет процесс сушки. Недостаток этого способа заключается в дефицитности и дороговизне инфракрасных ламп. При необходимости можно использовать лампы накаливания мощностью на 20% больше, но с подводом к ним напряжения питания на 10% ниже номинального.

§ 6. Ремонт арматуры трансформатора

Ремонт армированных вводов, связанный с заменой и переармировкой фарфора, в последнее время, как правило, не проводят. При модернизации трансформаторов с конструктивным отделением активной части от крышки армированные вводы заменяют съемными.

Ремонт съемных вводов несложен, и требуется только обязательная смена уплотнений.

Заслуживает внимания модернизация расширителей: устройство съемного дна для возможности чисток внутренней поверхности расширителя; модернизация маслоуказателя (его герметизируют и соединяют сверху и снизу с внутренней полостью расширителя); замена трубы, соединяющей расширитель с баком трансформатора, если ее патрубок недостаточно выступает внутрь расширителя; установка воздухоосушителя (детали воздухоосушителя можно получить с трансформаторостроительных заводов); перемаркировка уровней масла в расширителе.

При ремонте баков необходимо реконструировать крепление активной части в баке и установить термосифонный фильтр, если он отсутствовал.

§ 7. Сборка трансформатора

При сушке активной части изоляции она «усыхает», поэтому ее обязательно подпрессовывают и при необходимости дополнительно расклинивают, а также подтягивают все резьбовые соединения отводов, переключателей и т. д. При проведении межоперационного контроля измеряют сопротивление изоляции, определяют коэффициент абсорбции, испытывают электрическую прочность изоляции стяжных шпилек относительно магнитопровода и ярмовых балок мегомметром на 2500 В, проверяют наличие заземления активной стали и всех ярмовых балок.

Масло желательно заливать в теплый бак.

После установки крышки и заливки активной части маслом монтируют все наружные узлы, в том числе расширитель, а затем через трубку в расширитель заливают масло до нормального уровня. Часто доливку масла совмещают с проверкой трансформатора на герметичность, созданием избыточного столба масла высотой 1,5 м в течение 3 ч.

Сорбент в воздухоосушитель засыпают на месте монтажа трансформатора перед его включением в сеть, так как сорбент может быть поврежден в процессе транспортировки трансформатора.

Глава IV

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА НИЗКОВОЛЬТНОЙ АППАРАТУРЫ

§ 1. Общие положения

Электрические повреждения низковольтной аппаратуры — обрыв и замыкание на корпус — определяют при помощи контрольной лампы или мегомметра, а витковые замыкания — при помощи электромагнита.

На рисунке 70 приведена схема таких измерений. Электромагнит имеет намагничивающую НК и эталонные ЭК катушки, последние включены встречно.

При подключении электромагнита к сети и отсутствии испытуемой катушки или при ее наличии, но в исправном состоянии вольтметр, включенный на зажимы эталонных катушек, не дает показаний, при внесении же неисправной катушки в зону электромагнита стрелка прибора отклоняется. Витковое замыкание можно определить и в собранной катушке по значению потребляемого тока при исправном состоянии магнитной системы или по омическому сопротивлению катушки при весьма точных измерительных приборах, применяемых при измерениях, а также по степени нагрева (при исправном состоянии магнитной цепи).

Перегрев катушек может происходить вследствие увеличения воздушного зазора между якорем электромагнита и его сердечником или заклинивания якоря в разомкнутом состоянии, а также при понижении напряжения питания, в этих случаях по катушкам протекают токи, превышающие допустимые, которые перегревают катушки.

Низковольтную аппаратуру собирают из мелких простых деталей, которые обычно невыгодно ремонтировать, целесообразнее заменить новыми. При этом такие детали, как оси, валики, втулки, шпильки, рейки, крепежные детали, пружины, и контакты, или поступают с заводов-изготовителей, или изготавливаются на месте в ремонтном предприятии (это встречается чаще). Если электродвигатели ремонтируют только в электроцехах крупных совхозов или колхозов, то низковольтную аппаратуру ремонтируют практически во всех хозяйствах. Пластмассовые детали, асбцементные плиты, искрогасительные камеры, штампованные или литые детали, сложные по форме, поставляют заводы.

Одна из главных причин износа или повреждения элементов аппаратуры в сельском хозяйстве — влияние на нее агрессивной и влажной среды в животноводстве, запыленности и влажности в растениеводстве, высокая степень вибрации в других отраслях.

Только из-за коррозии в среде животноводческих ферм пускозащитная аппаратура выходит из строя после одного стойлового периода, а иногда и раньше. В магнитных пускателях выходит из строя до трети и более кожухов, подвижных и неподвижных контактов и катушек. Значителен износ в аппаратуре осей, втулок, ножей, подвижных контактов.

Рассмотрим кратко повреждения низковольтных аппаратов.

§ 2. Рубильники

Наиболее уязвимы у рубильников места контактов ножей с губками. Основное требование к ним — чистота и плотное прилегание.

Обгоревшие после многочисленных коммутационных операций губки и ножи ремонтируют или заменяют новыми. При небольших обгораниях контактных поверхностей достаточно очистить их от копоти и наплывов напильником, мелкой стеклянной шкуркой, снимая как можно меньше металла. Смазывать ножи и губки не рекомендуется, так как при возникновении дуги смазка, сгорая, дополнительно загрязняет контактные поверхности.

Для изготовления ножей служит полосовая электротехническая медь. Размеры новых ножей должны соответствовать старым. Болты должны быть затянуты, ножи не перекошены.

При коммутационных операциях изнашиваются также шарниры. Изношенные шарниры заменяют, а годные очищают, смазывают техническим вазелином и затягивают.

§ 3. Пакетные выключатели, магнитные пускатели и автоматические выключатели

Наиболее слабое место в пакетных выключателях — сильно напряженная пружина, заводящая включающий механизм. Испорченную пружину заменяют.

Ремонт контактов сводится в основном к восстановлению контактных поверхностей. Подгоревшие контакты зачищают. Контакты, покрытые слоем серебра, зачищать напильником нельзя. Неподвижные контакты и фибровые шайбы заменяют новыми. Новые контакты изготавливают из неотожженной меди по форме заменяемого контакта.

Установленные главные контакты регулируют по нажатию главных контактов в разомкнутом (начальном) и замкнутом (конечном) положениях. В первом случае искомое нажатие определяется усилием, при котором освобождается полоска бумаги или фольги, заложенная между подпружиненным подвижным контактом и его упором, во втором случае полоску закладывают между замкнутыми контактами. Сила нажатия зависит от марки контактора и колеблется в широких пределах. Определяют также провал подвижного контакта после удаления неподвижного и сравнивают с допусковым для каждого типа контактора.

Нажатие контактов регулируют затяжкой пружины. Сильный гул после выключения отремонтированного контактора чаще всего указывает на плохую пригонку прилегающих поверхностей якоря и сердечника. Чтобы определить степень прилегания этих поверхностей, между ними зажимают сложенные вместе два листа бумаги (белой и копировальной). Площадь оттиска, оставленного копировальной бумагой на белом листе, должна составлять не менее 70% общей площади поверхности соприкосновения.

Новые катушки контакторов изготавливают, строго копируя старые по их размерам и обмоточным данным. Главное при изготовлении новых обмоток — сохранить коэффициент заполнения окна обмоткой (катушкой), а также катушки медью и самым тщательным образом рассчитать данные обмотки.

Обмотки могут быть бескаркасными и каркасными, они могут быть взаимно заменены при условии полной их идентичности, хотя обычно и стараются сохранить прежний вид катушки. Важно, чтобы крепление катушки на сердечнике было почти жестким, иначе при вибрации может повредиться ее изоляция. Обычно обмоточные данные (номинальное напряжение катушки, В; диаметр провода без изоляции, мм; число витков в катушке и сопротивление катушки, Ом) приведены в справочниках и каталогах.

Нагреватели магнитных пускателей изготавливают из сплавов металлов с большим удельным сопротивлением (нихром, фехраль и др., а иногда даже из электротехнической горячекатаной трансформаторной стали). Размер нагревателя зависит от мощности двигателя. В условиях ремонтного производства штамповать их трудно, но к этому прибегают. Важно, чтобы характеристики новых нагревателей соответствовали старым.

§ 4. Предохранители и реостаты

При повреждениях предохранителей очищают контактные поверхности патронов и губок от копоти, коррозии, оплавок. У фибровых патронов проверяют толщину стенок и отсутствие трещин. При перезарядке предохранителя плавкую вставку проверяют по току отключения предохранителя и защищаемой цепи. У предохранителей с кварцевым наполнителем полностью заменяют песок новым, сухим, с размерами гранул 0,5...1 мм.

Патрон должен входить в губки предохранителя с небольшим усилием.

Ремонт реостатов заключается в зачистке, ремонте или замене неисправных контактов, элементов сопротивления, пружин, изоляции, болтовых соединений или замене неисправных контактов и регулировке механической части реостата. При этом реостат полностью разбирают. Элементы сгоревших сопротивлений заменяют полностью новыми из того же материала и того же сечения. При невозможности такой замены реостат ремонтируют с заменой его паспорта.

Если реостат при работе вибрирует, на все соединения ставят пружинные шайбы.

Неподвижные контакты регулировочных реостатов после их очистки от окислов и оплавлений устанавливают на одном уровне во избежание подгораний контактов и заедания контактных щеток. После сборки реостат регулируют и восстанавливают надписи на его крышке и кожухе. У масляных реостатов проверяют бак, смывают грязь, при необходимости ремонтируют (заваривают), заполняют свежим трансформаторным маслом, проверяют на обрыв его сопротивления и плавность хода подвижного контакта.

Глава V

ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОСЛЕ РЕМОНТА

§ 1. Виды испытаний

Испытания электрооборудования подразделяются на следующие виды.

1. Профилактические, проводящиеся в период эксплуатации электрооборудования по графику ППРЭсх. Их объем и периодичность установлены местными инструкциями в зависимости от условий и режимов работы электрооборудования.

2. Браковочные испытания или дефектация электрооборудования перед ремонтом. Они подробно описаны выше.

3. Пооперационные испытания в процессе ремонта (межоперационный контроль — МОК).

4. Контрольные испытания. Этим испытаниям подвергают любое электрооборудование, которое побывало в ремонте, независимо от объема ремонта. Цель контрольных испытаний — установить соответствие выпускаемого после ремонта электрооборудования паспортным данным, техническим условиям на ремонт, стандартам и т. д. Это основной вид испытаний электрооборудования.

5. Приемосдаточные испытания, которые проводят при приеме крупного электрооборудования в эксплуатацию после его монтажа или ремонта на месте установки.

6. Типовые или специальные испытания. Их проводят для электрооборудования, которое при ремонте подвергалось перделке или реконструкции с изменением обмоточных данных.

§ 2. Контрольные и типовые испытания

При изготовлении и ремонте электрооборудования основными являются контрольные и типовые испытания. Контрольным испытаниям подвергают каждое изделие.

В объем контрольных испытаний электрооборудования входят следующие операции:

— измерение сопротивления изоляции обмоток от корпуса и между обмотками;

— измерение омического сопротивления обмоток постоянным током;

— испытание главной изоляции обмоток повышенным напряжением;

— проведение опыта холостого хода;

— испытание витковой изоляции обмоток;

— проведение опытов короткого замыкания.

Перечисленные операции обязательны в объеме контрольных испытаний как электрических машин, так и трансформаторов. Кроме того, в объем контрольных испытаний электрических машин входит измерение воздушного зазора между статором и ротором (если это возможно).

При контрольных испытаниях электрических машин их обкатывают — проверяют температуру нагрева подшипников и состояние короткозамыкающего механизма.

При контрольных испытаниях асинхронных электродвигателей с фазным ротором определяют также коэффициент трансформации (опыт на трансформацию). Аналогичную операцию выполняют и при испытаниях трансформаторов, одновременно с этим определяют группу соединения обмоток трансформатора.

При замене обмоток якоря, ротора или бандажей электрических машин последние подвергают испытанию на повышенной (на 20% по сравнению с номинальной) частоте вращения.

Для машин постоянного тока в объем контрольных испытаний включают проверку и наладку коммутации.

Контрольные испытания электрических машин и трансформаторов после ремонта подробно описаны в практикуме по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования [23].

В объем типовых испытаний входят все операции контрольных испытаний и дополнительно — обязательная проверка электрооборудования (электрических машин и трансформаторов) на нагревание при номинальной нагрузке и при необходимости определение технико-экономических и каталожных показателей: к.п.д., $\cos \varphi$, скольжения, пускового, минимального и максимального моментов, поведения электрооборудования при нагрузке и т. д.

Обратим особое внимание на проверку электрооборудования при номинальной нагрузке.

Наиболее простое испытание на нагрев электрооборудования — это его прямое нагружение номинальной нагрузкой. Для генераторов это его постоянное и переменного тока и трансформаторов такой нагрузкой могут быть различные сопротивления (реостаты). Для электродвигателей, как правило, для этих целей необходимо иметь генератор, который, как и в первом случае, будет работать на соответствующие сопротивления.

Исключение для электродвигателей относительно небольшой мощности представляет схема загрузки по методу Мамед-Заде. В этом случае трехфазный электродвигатель запускают на холостом ходу, после его разгона одну из фаз обмотки статора отключают

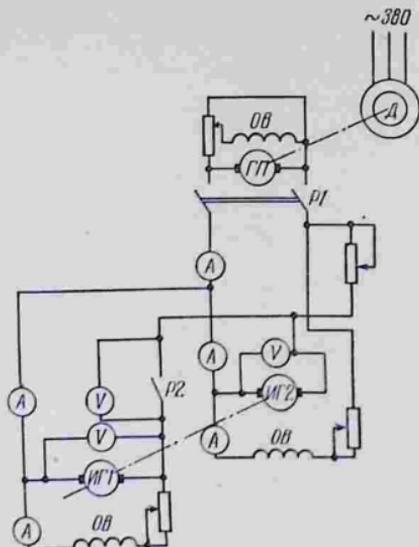


Рис. 71. Схема взаимной нагрузки при самовозбуждении машин.

них, работающая в режиме генератора, отдает всю вырабатываемую ею электрическую энергию второй машине, работающей в режиме двигателя, а последняя, в свою очередь, расходует всю выделяемую ею механическую энергию на вращение первой машины. Приток энергии извне требуется при этом только для покрытия суммы всех потерь в обеих машинах; этот приток может осуществляться либо электрическим, либо механическим путем, либо обоими одновременно.

Таким образом, при наличии источника ограниченной мощности можно осуществлять нагрузку машин много большей мощности. При соответствующей организации работ обе машины могут быть испытываемыми, нужно только, чтобы машины подходили одна к другой по мощности, напряжению и частоте вращения.

На рисунке 71 в качестве примера показана схема взаимной нагрузки при самовозбуждении машин постоянного тока.

Дополнительный источник энергии может представлять собой вольтдобавочный генератор, последовательно включенный в цепь якоря основных машин, при этом номинальный ток вольтдобавочного генератора должен быть не меньше тока основных машин, а напряжение может составлять лишь небольшую долю номинального напряжения последних.

Аналогично можно испытывать под нагрузкой трансформаторы. Схема взаимной нагрузки при помощи вольтдобавочного трансформатора показана на рисунке 72. Однако чаще испытания транс-

ют от сети и включают на сопротивление, регулируемое, которое получают необходимыми токами по фазам электродвигателя. Недостаток этого способа нагрузки электродвигателей — наличие некоторой (небольшой) несимметрии токов по фазам. Однако прямая работа электрооборудования на сопротивлении сопровождается большими непроизводительными затратами энергии, особенно при массовых тепловых испытаниях. Поэтому необходимо, где это возможно, прибегать к методам взаимной нагрузки машин и трансформаторов и рекуперации энергии в сеть.

Под взаимной нагрузкой понимается работа двух электрических машин, соединенных электрически и механически друг с другом так, что одна из

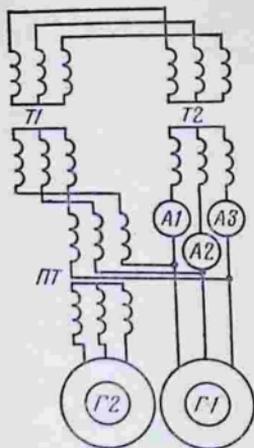


Рис. 72. Схема испытания трансформатора на нагрев по методу взаимной нагрузки:
 Г1 — генератор, питающий трансформаторы; Г2 — генератор, питающий промежуточный трансформатор;
 ПТ — промежуточный трансформатор.

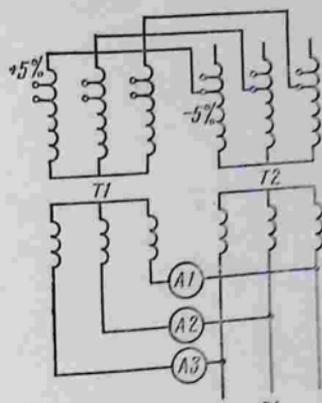


Рис. 73. Схема испытания трансформатора на нагрев по методу уравнивающего тока:
 Т1 — испытуемый трансформатор;
 Т2 — вспомогательный трансформатор.

форматоров на нагрев проводят по методу уравнивающего тока (рис. 73).

Этот способ применяется при наличии двух одинаковых трансформаторов с отводами для регулирования напряжения и равными напряжениями короткого замыкания. Значение уравнивающего тока I_y определяется разностью напряжений трансформаторов полных сопротивлений короткого замыкания трансформаторов z_{K1} и z_{K2} , практически равных между собой: $z_{K1} \approx z_{K2} \approx z_K$.

При наличии регулировочных отпаек на $\pm 5\%$ и при $u_K\% = z_K$ близком к 5%, получаем

$$I_y = I_n \frac{\Delta U}{2z_R} \approx I_n.$$

Таким образом, в этом режиме трансформаторы, находясь практически под номинальным напряжением, будут загружены и на ток, значение которого также близко к номинальному, то есть в трансформаторах будут наблюдаться действительные потери холостого хода и короткого замыкания. Полная кажущаяся мощность, необходимая в опыте, как и в предыдущем случае, равна геометрической сумме мощностей холостого хода и короткого замыкания двух трансформаторов. Наиболее простым и поэтому распространенным является нагрев трансформаторов по методу уравнивающего тока. При опыте короткого замыкания установка вводят силу тока I , создающую в трансформаторе потери, эквива-

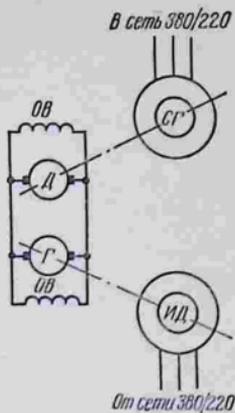


Рис. 74. Схема испытания асинхронного двигателя с рекуперацией энергии в сеть:

ИД — испытуемый двигатель; Г и Д — соответственно генератор и двигатель постоянного тока; СГ — синхронный генератор.

лентные сумме потерь холостого хода P_0 и короткого замыкания P_K :

$$I_y = I_n \sqrt{\frac{P_0 + P_K}{P_K}},$$

а значение подводимого напряжения u_k равно

$$u_k = \frac{U_n u_k \%}{100} \cdot \frac{I}{I_n}.$$

Способ применим при потерях холостого хода, составляющих не более 30% потерь короткого замыкания, так как при относительно больших потерях холостого хода обмотки трансформатора могут быть перегреты вследствие значительной перегрузки током и исказится картина теплового поля трансформатора.

Наиболее просто испытывать на нагрев синхронные генераторы, подключая их на работу параллельно с питающей сетью (при номинальной частоте вращения).

Несколько сложнее испытание на нагрев наиболее распространенных в сельском хозяйстве асинхронных электродвигателей. Для рекуперации энергии в сеть при их испытании необходимо иметь дополнительные машины.

На рисунке 74 приведена одна из возможных схем испытания асинхронного двигателя ИД на нагрев при помощи вспомогательных машин: генератора Г и двигателя Д постоянного тока и соединенного с сетью синхронного генератора СГ. Испытуемый электродвигатель будет потреблять из сети энергию, необходимую на покрытие потерь по всем машинам. Естественно, чем выше мощность испытуемого двигателя, тем относительно меньшим будет потребление энергии из сети и относительно большая доля ее будет рекуперирована.

В объем испытаний трансформаторов входят также испытания бака и уплотнений на плотность при помощи избыточного давления или создания вакуума.

Общие данные по производственным подразделениям и жилому фонду хозяйства

№ п/п	Отделение	Жилой сектор, число		Адрес отделения	Производственное наименование отделения	Источник электроснабжения			Напряжение ЛЭП, кВ		
		квартир	светоточек			Его владелец	Число	Суммарная мощность, кВт.А	высшее	нижнее	

Энерговооруженность и обслуживающий персонал хозяйства

Год	Энерговооруженность (в условных единицах)				Обслуживающий персонал (указать в единицах)															
	МТМ в гараже	отделений			Плановые и фактические показатели	Главный энергетик	Ст. инженер-энергетик	Ст. инженер-электрик	Ст. техник-электрик	Ст. инженер-электрик	Ст. техник-электрик	Старшие электрики по категориям участков			Электромонтеры по категориям горни участков					
		1-го	2-го	3-го								4-го	1	2	3	1	2	3		
					Положено															
					Запланировано															
					Имеется															

Приложение 6

Линии электропередач, находящиеся на балансе совхоза (колхоза)

п/п №	Линии электропередач (ЛЭП)			Парохода в однопольном исчислении			Опоры		Приставки	
	Местонахождение	Напряжение, кВ	Год строительства	Средствы на ремонт	Длина, км	Сечение, мм ²	Длина, км	Материал	Число	Материал

Приложение 7

Электростанции, принадлежащие совхозу (колхозу)

Дата установки	Местонахождение электростанции	Стационарная или передвижная	Двигатель		Тип	Мощность, кВт	Частота в Гц/мин	Тип	Мощность, кВт	Данные эксплуатации электростанции за год	
			Электрогенератор	Генератор						1981	1982
			Наименование							Работала, ч	Выработано электроэнергии, кВт·ч
			Мощность, кВт							Работала, ч	Выработано электроэнергии, кВт·ч
			Частота в Гц/мин							Работала, ч	Выработано электроэнергии, кВт·ч
			Тип							Работала, ч	Выработано электроэнергии, кВт·ч
			Мощность, кВт							Работала, ч	Выработано электроэнергии, кВт·ч
			Тип							Работала, ч	Выработано электроэнергии, кВт·ч
			Мощность, кВт							Работала, ч	Выработано электроэнергии, кВт·ч
			Напряжение, В							Работала, ч	Выработано электроэнергии, кВт·ч

Электрические счетчики на ТП для расчета с поставщиками электроэнергии

№ п/п	Место установки электросчетчиков (№ и наименование ТП)	Дата установки	Трансформаторы тока			Счетчики			Примечание
			Число	Тип	Коэффициент трансформации	Число	Тип	Ток, А	

Справка о потребляемой электроэнергии

Год	Месяц	Потреблено электроэнергии, кВт·ч								
		всего	в том числе					на них		
			на бытовые нужды для перепродажи	потребителям других ведомств	на собственные производственные нужды	на полеводство	на животноводство	на птицеводство	на МТМ и гаражи	на прочие производственные нужды

Список персонала, обслуживающего электрические установки

№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Занимаемая должность	Год рождения	Общее образование	Специальное образование	Прохождение медицинской комиссии		Проверка знаний						
						Дата	Заключение	ПТЭ		ПТБ				
								Дата	Оценка	Дата	Группа	Оценка		

Мастерская по ремонту электросилового оборудования
Краткий перечень выполняемых работ

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Оборудование мастерской

№ п/п	Дата установки	Оборудование или электро-измерительные приборы	Тип	Назначение

Приложение 12

Утверждаю:
Директор совхоза _____
« » _____ 198__ г.

Согласовано:
Гл. инженер совхоза _____
« » _____ 198__ г.

План внедрения электроэнергии в сельскохозяйственное производство _____
совхоза на 198__ г.

№ п/п	Отделение или населенный пункт	Объект	Мероприятие	Электри-ческая мощность, кВт	Ответствен-ный исполнитель	Дата испол-нения	Отметки об испол-нении

Приложение 13

Совхоз _____
Отделение _____
Объект _____
Населенный пункт _____

Книга заявок на устранение повреждений в электрохозяйстве

Дата заявки	Место повреждения	Подпись заявителя	Дата устранения повреждения	Краткое описание выполненной работы	Подпись устранившего повреждение

Совхоз

Отделение

Населенный пункт

Журнал учета электроприемников с пускорегулирующей и осветительной аппаратурой

№ п/п	Наименование	Место установки (машина-агрегат)	Электроизмеритель				Пускорегулирующая и защитная аппаратура				Светильники									
			Дата установки	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Дата	Причина	Подпись	Тип	Дата установки	Число	Тип	Сняты							
													Причина	Подпись						

Книга учета надежности электроснабжения совхоза 198 год

Продолжительность (ч, мин) перерывов подачи электроэнергии			Отключенные ТП или низковольтные фидеры				Расчет простоев, кв.А													
Дата	Время	Простой, ч, мин	ТП		Низковольтные фидеры		№ отключенных ТП	Число трансформаторов	Суммарная мощность, кВт	Наименование	Суммарная мощность трансформаторов	Место нахождения ТП или электропитающей организации	ТП		с согласия	без согласия				
			с согласия	без согласия	с согласия	без согласия														

Сводный годовой график технического обслуживания электрооборудования

Электрооборудование и место его установки	Сроки проведения технического обслуживания											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь

Утверждаю:

Согласовано:

Директор совхоза _____

Гл. инженер совхоза _____

« _____ 198__ г.

« _____ 198__ г.

План капитального ремонта электрохозяйства на 198 г. совхоза, колхоза _____ райсельхозуправления

№ п/п	Ремонтируемое помещение	Объем ремонтных работ	Единица учета	Число единиц учета	Срок исполнения	Ответственный исполнитель	Отметка об исполнении

Совхоз _____

Отделение _____

Населенный пункт _____

Журнал учета работ по планово-предупредительному ремонту

Графиком предусмотрено ППР провести в месяце	Дата выполнения ППР	Производственное помещение	Ремонтируемое оборудование или электросеть	Состав выполненной работы	Подпись лица ответственного за эксплуатацию электрооборудования	Оценка работы и подпись проверяющего

Совхоз _____

Журнал проверки знаний правил технической эксплуатации электроустановок потребителей и правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок

№ п/п	Фамилия, имя и отчество	Должность и стаж работы в этой должности	Предыдущая проверка			Текущая проверка					
			Дата	Оценка знаний	Квалификационная группа по ТБ	Дата	Причина	Оценка знаний	Квалификационная группа по ТБ	Заключение комиссии	Подпись проверяемого лица

Заземляющие контуры-производственных помещений

Дата устройства контура	Место устройства заземляющего контура	Грунт	Элементы контура			Результаты замеров сопротивления заземления											
			Число	Материал, размеры (м), сечение (мм ²)	Длина, м	Дата	R, Ом	Дата	R, Ом	Дата	R, Ом	Дата	R, Ом				

Утверждаю:

Согласовано:

Директор совхоза _____

Гл. экономист совхоза _____

« » _____ 198__ г.

« » _____ 198__ г.

Смета на проведение электромонтажных работ по _____

_____ электрохозяйство совхоза _____ на 198__ г.

№ п/п	Обоснование	Вид работы	Единица измерения	Число единиц	Стоимость, р.	
					единицы	общая

 (кому)

от совхоза _____

Заявка на материалы для выполнения плана работ по _____

_____ в 198__ г. просим отпустить нижеследующее:

№ п/п	Электротехнические изделия, провода и кабели	Тип, марка, сечение или техническая характеристика	Единица учета	Число единиц учета	Отметка о выдаче

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы. — М.: Политиздат, 1976.
2. Авакян В. Л., Опель Г. Г. Электромонтаж распределительных устройств. — М.: Энергия, 1973.
3. Батян А. М., Калинин Л. А. Монтаж и эксплуатация электроустановок в сельском хозяйстве. — Минск: Урожай, 1967.
4. Богородицкий Н. П., Пасынков В. В., Тареев Б. М., Электротехнические материалы. — Л.: Энергия, 1977.
5. Единая система плано-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий. Изд. 6-е, под редакцией М. О. Якобсона. — М.: Машгиз, 1967.
6. Романов А. Д. Справочник по сооружению сетей 0,4...10 кВ. — М.: Энергия, 1974.
7. Бодин А. П., Московкин Ф. И. Новое электрооборудование для сельского хозяйства. — М.: Россельхозиздат, 1975.
8. Зюзин А. Ф., Вишток А. И., Поконов Н. З. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования предприятий и установок. — М.: Высшая школа, 1976.
9. Круглянский М. С., Барц Е. Г. Справочник молодого электромонтажника. — М.: Высшая школа, 1974.
10. Объем и нормы испытания электрооборудования. — М.: Энергия, 1975.
11. Правила устройства электроустановок ПУЭ-76. — М.: Атомиздат, 1977.
12. Правила технической эксплуатации и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. — М.: Энергия, 1970.
13. Пястолов А. А. и др. Эксплуатация и ремонт электроустановок. — М.: Колос, 1976.
14. Рапутов Б. М. Эксплуатация аппаратуры автоматики сельскохозяйственных электроприводов. — М.: Колос, 1977.
15. Рябцов Ю. И., Тирановский Г. Г. Справочник по монтажу распределительных устройств выше 1000 В. — М.: Энергия, 1971.
16. Снягини Н. Н., Афанасьев Н. А., Новиков С. А. Система плано-предупредительного ремонта энергооборудования промышленных предприятий. — М.: Энергия, 1978.
17. Система плано-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППРЭсх). — М.: ОНТИ, ГОСНИТИ, 1971.
18. Смирнов В. Н., Соколов Б. А., Соколова Н. Б. Монтаж электрических установок. — М.: Энергия, 1976.
19. Справочник по электротехническим материалам/Под редакцией Ю. В. Коричко, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева, Т. И. — М.: Энергия, 1974. Т. III. — М.: Энергия, 1974. Т. II. — Л.: Энергия, 1976.
20. Таран В. П. Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве. — М.: Колос, 1975.
21. Указания по системе плано-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППРЭсх). — М.: ГОСНИТИ, 1974.
22. Строительные нормы и правила СНиПШ-33—76. — М.: Стройиздат, 1977.
23. Практикум по монтажу, эксплуатации и ремонту электрооборудования/А. А. Пястолов, А. А. Попков, А. А. Большаков и др. — М.: Колос, 1976.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ	
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ МОНТАЖЕ, ЭКСПЛУАТАЦИИ И РЕМОНТЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	5
<i>Глава I. Электроизоляционные материалы</i>	<i>5</i>
§ 1. Классификация электротехнических материалов	6
§ 2. Общие положения. Свойства электроизоляционных материалов	6
§ 3. Явления в электроизоляционных материалах при воздействии электрического поля. Поляризация диэлектриков	9
§ 4. Диэлектрическая проницаемость	11
§ 5. Сопротивление изоляции	15
§ 6. Диэлектрические потери	18
§ 7. Электрическая прочность	22
§ 8. Механические и физико-химические свойства диэлектриков	24
§ 9. Классификация электроизоляционных материалов по нагревостойкости	26
§ 10. Газообразные диэлектрики	27
§ 11. Жидкие диэлектрики	30
§ 12. Твердые изоляционные материалы	36
§ 13. Волокнистые электроизоляционные материалы	44
§ 14. Пленочная изоляция	46
§ 15. Слоистые пластики и комбинированные электроизоляционные материалы	48
§ 16. Слюдяные материалы и эластомеры	51
<i>Глава II. Проводниковые материалы</i>	<i>51</i>
§ 1. Общие положения. Классификация проводниковых материалов	52
§ 2. Материалы высокой проводимости	56
§ 3. Сплавы высокого сопротивления	57
§ 4. Различные металлы	58
§ 5. Обмоточные провода	62
§ 6. Установочные и монтажные провода и кабели	65
§ 7. Провода специального назначения	65
<i>Глава III. Магнитные материалы</i>	<i>65</i>
§ 1. Классификация магнитных материалов	66
§ 2. Магнитомягкие материалы	68
§ 3. Магнитотвердые материалы	69
<i>Глава IV. Полупроводниковые материалы</i>	<i>69</i>
§ 1. Общие положения	70
§ 2. Полупроводниковые элементы и выпрямители	71
§ 3. Термисторы. Варисторы. Фотосопротивления	72
§ 4. Электроугольные изделия	72
РАЗДЕЛ ВТОРОЙ	
МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	73
<i>Глава I. Общие вопросы электромонтажа</i>	<i>73</i>
§ 1. Общие требования при проведении электромонтажных работ	73
§ 2. Классификация электроустановок, помещений и электрооборудования	73
§ 3. Требования к зданиям и сооружениям, принимаемым под монтаж электрооборудования	76

4.	Инструменты, применяемые при монтаже электрооборудования . . .	76
5.	Установочные материалы и изделия . . .	79
Глава II.	Внутренние электропроводки и осветительные установки . . .	81
1.	Общие сведения об электропроводках . . .	81
2.	Рекомендации по применению проводов . . .	82
3.	Выбор проводов и кабелей для электропроводок . . .	83
4.	Монтаж открытых электропроводок плоскими проводами марок АППВ, АППП, АППР, АПН . . .	84
5.	Проводки в стальных трубах . . .	87
6.	Проводки на тросах . . .	88
7.	Вводы линий электропередач в строения различного характера . . .	89
8.	Монтаж проводок на чердаках . . .	91
9.	Особенности монтажа проводок в животноводческих помещениях . . .	92
10.	Монтаж осветительных и облучательных установок . . .	92
11.	Меры безопасности при монтаже проводок и осветительных установок . . .	93
Глава III.	Монтаж электрических двигателей и аппаратуры управления . . .	93
1.	Порядок предварительного осмотра двигателей . . .	94
2.	Опорные основания под двигатели . . .	95
3.	Центровка валов электрических двигателей . . .	96
4.	Присоединение проводов питания, зануление, заземление . . .	97
5.	Монтаж аппаратуры управления . . .	104
6.	Включение электродвигателя после монтажа . . .	105
Глава IV.	Монтаж воздушных линий напряжением до 1000 В . . .	
1.	Общие требования и правила при сооружении воздушных линий электропередачи . . .	105
2.	Техника безопасности при сооружении воздушных линий . . .	114
Глава V.	Монтаж кабельных линий напряжением до 1000 В . . .	116
1.	Общие требования и правила при сооружении кабельных линий электропередачи . . .	116
2.	Ввод кабельной линии в эксплуатацию . . .	120
3.	Техника безопасности при монтаже кабельной линии . . .	122
Глава VI.	Монтаж трансформаторных подстанций . . .	122
1.	Типы трансформаторных подстанций . . .	129
2.	Строительно-монтажные работы . . .	132
3.	Монтаж силовых трансформаторов . . .	134
4.	Ревизия активной части трансформатора . . .	137
5.	Испытания трансформаторов . . .	
6.	Особенности правил техники безопасности при монтаже трансформаторных подстанций . . .	139
Глава VII.	Организация труда и механизация электромонтажных работ . . .	140
1.	Общие положения . . .	140
2.	Механизация и индустриализация электромонтажных работ . . .	144
3.	Техника безопасности при выполнении механизированных работ . . .	145
РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ		148
ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ		148
Глава I.	Общие вопросы эксплуатации . . .	148
1.	Общие положения . . .	148
2.	Основные положения по организации эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве . . .	150
3.	Профилактические испытания изоляции электрооборудования . . .	151
4.	Наладка электрооборудования . . .	153
5.	Контроль за температурными режимами электрооборудования . . .	154
6.	Пути эффективного использования электрооборудования . . .	157
7.	Параметры надежности работы электрооборудования . . .	159
Глава II.	Эксплуатация воздушных линий напряжением до 1000 В . . .	160
1.	Общие положения . . .	160
2.	Соблюдение режимов по токам нагрузки . . .	161
3.	Осмотры воздушных линий . . .	

4.	Профилактические измерения и проверки на линиях	162
5.	Охрана линий	166
6.	Ремонт воздушных линий	167
7.	Техника безопасности при эксплуатации и ремонте воздушных линий	173
Глава III. Эксплуатация силовых кабельных линий		174
1.	Общие положения	174
2.	Соблюдение режимов по токам нагрузки	175
3.	Осмотры кабельных линий	178
4.	Профилактические испытания и измерения	179
5.	Определение мест повреждений на кабельных линиях	182
6.	Прожигание кабелей	187
7.	Ремонт кабельных линий	188
8.	Техника безопасности при эксплуатации кабельных линий	190
Глава IV. Эксплуатация силовых трансформаторов		192
1.	Общие положения	192
2.	Подготовка трансформаторов к включению. Основные неисправности трансформаторов	194
3.	Особенности эксплуатации трансформаторов сельских подстанций	197
4.	Тепло- и влагообмен в трансформаторах	200
5.	Эксплуатация трансформаторного масла	203
Глава V. Эксплуатация электродвигателей		210
1.	Электродвигатели, применяемые в сельском хозяйстве	210
2.	Режимы работы электродвигателей и их использование в сельском хозяйстве	215
3.	Влагообмен между изоляцией электродвигателей и окружающей средой	217
4.	Классификация условий эксплуатации. Влияние условий эксплуатации на срок службы электродвигателей	222
5.	Особенности эксплуатации погружных электродвигателей	224
6.	Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей, используемых в сельском хозяйстве	226
Глава VI. Эксплуатация специальных электротехнических установок		230
1.	Эксплуатация осветительных и облучательных установок	230
2.	Эксплуатация электронагревательных установок	232
3.	Особенности эксплуатации электрооборудования электронно-ионной технологии	235
4.	Особенности эксплуатации электробытовой техники	236
Глава VII. Эксплуатация аппаратуры защиты и управления		238
1.	Общие положения	238
2.	Испытание и наладка аппаратуры управления, защиты и устройств автоматки	240
3.	Особенности эксплуатации станций управления погружными насосами	242
4.	Повышение эксплуатационной надежности аппаратуры защиты и управления	249
Глава VIII. Организации эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве		252
1.	Руководство и управление сельской электрификацией	252
2.	Специализированное техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве предприятиями «Сельхозэнерго»	254
3.	Энергетическая служба хозяйств	258
4.	Техническая документация энергетической службы	260
5.	Система планово-предупредительного ремонта (ППРЭСх) и условия эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве	262
6.	Виды обслуживания и ремонтов	265
7.	Периодичность технического обслуживания и ремонтов электрооборудования. Трудоемкость работ	267
8.	Составление графиков ППРЭСх. Материально-техническое обеспечение работ	269
9.	Оптимальный резервный фонд электрооборудования и запасных частей хозяйства	270

§ 10. Оформление электроустановок, вводимых в эксплуатацию	272
§ 11. Ущерб, наносимый сельскохозяйственному производству перерывами в подаче электроэнергии, и ее рациональное расходование	274

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

РЕМОНТ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ 278

Глава I. Расчет электрооборудования при ремонте 278

§ 1. Общие положения	278
§ 2. Предварительные расчеты	281
§ 3. Частные случаи пересчета электрооборудования	283

Глава II. Технология ремонта электрических машин 290

§ 1. Общие положения. Транспортировка электрооборудования. Технические условия на прием в ремонт. Склад ремонтного фонда	290
§ 2. Схема технологического процесса ремонта электрических машин	293
§ 3. Техническая документация на ремонтируемое электрооборудование	294
§ 4. Дефектация электрооборудования. Методы определения неисправностей	296
§ 5. Разборка электрических машин. Удаление старой обмотки	299
§ 6. Ремонт обмоток, сушка и пропитка	301
§ 7. Электромеханический ремонт	303
§ 8. Способы парашивания поверхностей	306

Глава III. Технология ремонта трансформаторов 308

§ 1. Схема технологического процесса ремонта трансформаторов	308
§ 2. Транспортировка трансформаторов. Прием трансформатора в ремонт	309
§ 3. Дефектация трансформаторов	310
§ 4. Ремонт активной части	310
§ 5. Сушка и пропитка обмоток	312
§ 6. Ремонт арматуры трансформатора	312
§ 7. Сборка трансформатора	313

Глава IV. Технология ремонта низковольтной аппаратуры 313

§ 1. Общие положения	313
§ 2. Рубильники	314
§ 3. Пакетные выключатели, магнитные пускатели и автоматические выключатели	314
§ 4. Предохранители и реостаты	316

Глава V. Испытания электрооборудования после ремонта 316

§ 1. Виды испытания	316
§ 2. Контрольные и типовые испытания	321

Приложения 331

Указатель литературы 331

Алексей Андреевич Пястолов,
Алексей Афанасьевич Мешков,
Александр Леонидович Вахрамеев

**МОНТАЖ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

Редактор *В. М. Никитина*
Художественный редактор *Н. Ф. Шлезингер*
Технические редакторы *Л. М. Володченко*
и *В. А. Боброва*
Корректоры *А. И. Кудрявцева*
и *М. В. Черниковская*

ИБ № 2392

Сдано в набор 29.04.80. Подписано к печати
14.10.80. Т-15397. Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип.
№ 2. Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 21. Уч.-изд. л. 23,41. Изд. № 33. Ти-
раж 50 000 экз. Заказ № 498. Цена 1 р. 10 к.

Ордена Трудового Красного Знамени изда-
тельство «Колос», 107507, ГСП, Москва, Б-53,
ул. Садовая-Спасская, 15.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграф-
прома при Государственном комитете СССР по
делам издательств, полиграфии и книжной тор-
говли, 150014, Ярославль, ул. Свободы, 97.