

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В. И. Русан

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших
учебных заведений Республики Беларусь по образованию в области
сельского хозяйства в качестве пособия для студентов высших
учебных заведений специальности 1-74 06 05-01 Энергетическое
обеспечение сельскохозяйственного производства
(электроэнергетика)*

Минск
БГАТУ
2010

УДК 621.31(07)
ББК 31.26я7
Р88

Рецензенты:

кафедра «Микро- и нанотехника» Белорусского
национального технического университета (зав. кафедрой, член-
корреспондент НАН Беларуси, доктор технических наук,
профессор *Ю. М. Плескачевский*;
доктор технических наук, профессор *В. А. Сычик*);
начальник отдела энергетики Министерства сельского хозяйства
и продовольствия Республики Беларусь *А. В. Казак*

Русан, В.И.

Р88

Диагностика электрооборудования : пособие /
В. И. Русан. – Минск: БГАТУ, 2010. – 220 с.
ISBN 978-985-519-233-7.

УДК 621.31(07)
ББК 31.26я7

ISBN 978-985-519-233-7

© БГАТУ, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Тема 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	5
Тема 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ.....	10
Тема 3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	18
Тема 4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	44
Тема 5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	58
Тема 6. ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ (ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ).....	68
Тема 7. ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ (КР).....	84
Тема 8. ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ОБОРУДОВАНИЯ.....	99
Тема 9. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ.....	117
Тема 10. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ.....	127
Тема 11. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ И ЗАЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ.....	139
Тема 12. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ (УВЭП, УЗО и др.).....	157
Тема 13. КОМПЛЕКСНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	168
Тема 14. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ.....	189
Тема 15. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	198
ЛИТЕРАТУРА.....	215

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение высокой надежности работы и эффективности функционирования технических систем и комплексов в АПК – одна из важнейших задач в настоящее время. Для решения этой задачи в соответствии с системой ППРЭСх электрооборудование подвергается следующим видам эксплуатационного воздействия: диагностирование, техническое обслуживание и ремонт. Целью этих операций является своевременное выявление и устранение неисправностей электрооборудования для повышения надежности его работы и снижения стоимости эксплуатации.

Диагностирование электрооборудования включает в себя операции по определению и прогнозированию технического состояния на основании измерения диагностических параметров, анализа и обработки результатов контроля. Введение планового диагностирования в систему эксплуатации сельскохозяйственного оборудования и выполнение всех необходимых ремонтных работ значительно сокращает количество ремонтных операций, вследствие чего снижаются эксплуатационные издержки и ущерб от отказов оборудования.

Прогнозирование технического состояния электрооборудования на основе мониторинга диагностических параметров позволяет получить достоверную информацию о его фактическом состоянии на момент проведения ремонтных работ, своевременно устранить возможные причины отказа, сокращать простои, использовать ресурсы электрических машин в полном объеме.

Известно, что диагностический мониторинг приводит к снижению затрат на ремонт оборудования на 50-80 %, затрат на техническое сопровождение – на 50-80 %, объемов материально-производственных процессов – на 30 %, а также к повышению рентабельности производства на 20-60 %, повышению надежности работы оборудования и снижению ущерба от его отказов.

Тема 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

План

Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе. Особенности эксплуатации электрооборудования в АПК.

1.1. Цель дисциплины «Диагностика электрооборудования» – формирование системы знаний и навыков по диагностированию электрооборудования, знанию приборов, приспособлений и инструментов, применяемых для диагностирования электрооборудования.

1.2. Задачи дисциплины

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- знать основы теории надежности и информационных технологий, основы измерений и обработки их результатов, физические основы изменения эксплуатационных свойств электрооборудования в зависимости от условий эксплуатации, принципы и системы диагностирования электрооборудования, организацию эксплуатации и диагностирования;

- уметь организовать службу диагностирования, составлять графики технического обслуживания и диагностирования, диагностировать электрооборудование, осуществлять проверку приборов, аттестовывать и аккредитовывать измерительно-диагностические лаборатории;

- иметь представление о роли и влиянии диагностики на эксплуатационную надежность электрооборудования и конечные результаты сельскохозяйственного производства.

1.3. Перечень дисциплин (разделов, тем), знание которых необходимо для изучения данной дисциплины

Название дисциплины	Раздел (тема)
Основы электропроводности	Электроизоляционные материалы. Проводниковые материалы и изделия. Полупроводниковые материалы. Магнитные материалы. Конструкционные материалы
Устройство электрооборудования	Устройство пускозащитной аппаратуры, измерительных приборов, электродвигателей, светильников, облучателей, электротермического оборудования. Схемы подключения измерительных приборов
Метрология и электрические измерения	Измерительные мосты и компенсаторы. Методы измерения электрических величин. Погрешности измерений. Электронные измерительные приборы. Информационные технологии

1.4. Особенности эксплуатации электрооборудования в АПК

Сельскохозяйственное производство имеет ярко выраженный сезонный характер и суточную цикличность, что накладывает свои особенности на работу оборудования, в т. ч. и электротехнического. Например, около 30 % электродвигателей используются менее 500 ч в год, около 50 % – до 1000 ч в год, а около 12 % электродвигателей работают лишь 1,5–2 ч в сутки. Средняя продолжительность использования электродвигателей не превышает 800 ч в год, при фактической продолжительности работы не менее 1500 ч в год.

Значительные колебания имеет и нагрузка электродвигателей вследствие неравномерной подачи материалов, их неоднородности. В то же время многие виды электрооборудования, в т. ч. и электродвигателей, заняты в ответственных технологических процессах, для которых время простоя при отказе электрооборудования не должно превышать 0,5–1,5 ч, а возможный технологический ущерб значительно превышает стоимость самого оборудования или его капитального ремонта. Кроме технологического ущерба, возможны социальный, экономический, энергетический и другие виды ущерба, которые не всегда однозначно можно свести к экономическим показателям.

Низкие показатели продолжительности работы и загрузки электрооборудования и возможный ущерб от его отказов затрудняют выбор оптимальных вариантов эксплуатации. Для решения задач рациональной эксплуатации требуются привлечение теории вероятностей, массовое обслуживание, надежность, другие специальные и достаточно сложные разделы математики, позволяющие прогнозировать события в условиях неопределенности и производить выбор оборудования, численности и квалификации персонала, стратегии эксплуатации с максимальным экономическим эффектом. При этом подход должен быть системным, т. е. учитывающим все составляющие системы эксплуатации (И-Э-Т-С), связи системы и внешних факторов. (И – источник, Э – электроприемник, Т – технологический объект, С – служба эксплуатации).

Условия эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве

Условия эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве можно разделить на климатические, биологические, механические, электрические и социальные, или социально-технические.

Климатические условия различают по температуре, влажности, наличию или выделению воспламеняющихся или взрывоопасных

веществ, химически активных паров или газов. В соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ) производственные помещения разделяют на:

сухие – помещения с относительной влажностью не выше 60 % (конторы, школы, больницы и т.д.);

влажные – помещения с относительной влажностью от 60 до 70 %, пары и конденсирующаяся влага выделяются лишь временно;

сырые – помещения с относительной влажностью, длительно превышающей 75 % (овощехранилища, доильные залы, молочные, кухни и т. д.);

особо сырые – помещения с относительной влажностью, близкой к 100 %, поверхности помещений покрыты влагой (душевые, теплицы и т. д.);

пыльные – помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, оседающая на электрооборудовании и проникающая внутрь его (комбикормовые цеха, зерносклады и т. д.);

особо сырые, с химически активной средой – помещения с относительной влажностью, близкой к 100 %, с постоянным или длительным содержанием паров аммиака, сероводорода (животноводческие помещения, склады минеральных удобрений и др.);

пожароопасные (класс П) – помещения, в которых производят, хранят, перерабатывают или применяют горючие вещества. Различают четыре их класса: П-I; П-II; П-IIa, П-III;

взрывоопасные (класс В) – помещения, в которых, по условиям технологического процесса, могут образовываться взрывоопасные смеси газов или паров с воздухом или горючей пылью. Различают шесть их классов: В-I; В-Ia, б, в, г; В-II.

Биологические условия эксплуатации характеризуются наличием биологически активных веществ и организмов (поверхностно активные вещества, споры, грибы и т. д.), грызунов, вредителей (мыши, крысы и т. д.) и непосредственным воздействием животных и птицы (механические повреждения, выделения). При выборе оборудования и в процессе его эксплуатации необходимо учитывать эти особенности, так как в противном случае может происходить повреждение изоляции грызунами, механическое повреждение электрооборудования животными, ускоренное старение изоляции из-за отложений микроорганизмов. Исследования биологических условий эксплуатации на работоспособность оборудования пока недостаточно изучены и систематизированы.

Механические условия эксплуатации характеризуются особенностями ветровых, снеговых и гололедных нагрузок, особенностями механических характеристик рабочих машин и их изменений в процессе эксплуатации (старение смазки, коррозия, износ и т. д.), вибрационными и другими показателями. По условиям образования гололеда различают I, II и III районы, с расчетной толщиной стенки гололеда 5, 10, 15 мм и более; по ветровой нагрузке – также три района.

Электрические условия эксплуатации определяются условиями опасности поражения электрическим током и особенностями электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. По условиям поражения электрическим током, в соответствии с ПТЭ и ПТБ, различают помещения без повышенной опасности, помещения с повышенной опасностью, особо опасные помещения. Особенности эксплуатации заключаются в ограничении уровней напряжений, применяемых для питания электрооборудования, в качестве изоляции и периодичности профилактических работ.

Особенностями электроснабжения сельскохозяйственных потребителей являются: большая разветвленность и протяженность электрических сетей, наличие большого количества воздушных линий и открытых трансформаторных подстанций, неравномерность загрузки сетей и подстанций в течение суток и года, значительное количество однофазных потребителей, невысокие значения генерирующих и трансформаторных мощностей. Это приводит к частой повреждаемости сетей, сложным условиям работы распределительных сетей и трансформаторных подстанций, несимметрии токов и напряжений, значительным колебаниям напряжений при пусках мощных потребителей и несоблюдению требований к качеству электрической энергии в соответствии с ГОСТ 13109.

Социально-технические условия эксплуатации характеризуются значительной рассредоточенностью оборудования, что требует 15-40 % времени на переезды; разнотипностью оборудования, что вызывает необходимость разработки сложных графиков технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР); необходимостью в специальном оборудовании и специалистах; высокой вариативностью фронта работ, что вызывает необходимость привлечения к работам неодинакового количества электромонтеров; низкой квалификацией электротехнического персонала и низкой обеспеченностью даже этим низкоквалифицированным персоналом (в отдельных хозяйствах эти службы отсутствуют вообще, а обеспечен-

ность в среднем по республике не превышает 20 % от нормативной), что затрудняет, а в ряде случаев и делает невозможной реализацию графиков ТО и ТР, а эксплуатация из профилактической превращается в послеотказовую; неуккомплектованностью ЭТС хозяйств инструментами, приборами, транспортными и другими средствами и механизмами.

Вопросы для самоконтроля

1. Что должен знать студент после изучения дисциплины «Диагностика электрооборудования»?
2. Какие особенности эксплуатации электрооборудования в АПК?
3. Назовите условия эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве.

Тема 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

План

Задачи технической диагностики. Термины и определения технического диагностирования. Системы диагностирования и их назначение.

Основные понятия и определения технического диагностирования приводятся в соответствии с «Международным словарем основных и общих терминов в области метрологии».

Техническая диагностика – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объекта, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объектах.

2.1. Задачи технической диагностики

При диагностировании решаются задачи точного определения состояния, в котором находится система, или установления множества состояний, в одном из которых она находится. Это определяется тем, какая задача ставится при исследовании объекта диагностирования (ОД). Различают 5 задач диагностирования.

Первая задача диагностирования — **проверка исправности**, при которой решается задача обнаружения в **объекте** любой неисправности, переводящей ОД из множества исправных состояний A в множество неисправных состояний W_2 . Она возникает при изготовлении устройств на заводах, включении их после долгого хранения или ремонта. При введении в эксплуатацию устройств проверяют все элементы, узлы, цепи, источники питания и изоляцию. Часто это очень трудоемкий процесс, для упрощения которого необходимо применять методы технического диагностирования.

Вторая задача диагностирования — **проверка работоспособности, т.е.** обнаружение тех неисправностей, которые переводят ОД из множества работоспособных систем W_1 в множество отказавших систем C . Во время проверки работоспособности можно оставлять необнаруженными неисправности, не препятствующие применению системы по назначению. Например, при резервировании система может быть работоспособной, несмотря на наличие неисправностей в резервных элементах. Поэтому данная задача является ме-

нее детальной, чем проверка исправности, и может быть решена более простыми методами. Проверка работоспособности осуществляется при включении объекта в работу или при профилактических осмотрах, а также когда имеется ограничение на время, отведенное для проверки устройств.

Третья задача диагностирования – **проверка правильности функционирования** — решается во время работы ОД. При этом достаточно следить за тем, чтобы в объекте не появились неисправности, нарушающие его нормальную работу в настоящий момент времени, и исключить недопустимое для нормальной работы влияние неисправностей. Проверка правильности функционирования позволяет делать вывод о правильной работе ОД только в данном режиме и в данный момент времени. Решение указанной задачи имеет важное значение для систем автоматизации, выполняющих ответственные функции управления технологическими процессами. В них надо следить за тем, чтобы искажение алгоритма функционирования не приводило к опасным последствиям в поведении объекта управления.

Четвертая задача диагностирования — **поиск неисправностей** (дефектов), которая решает проблему точного указания в объекте неисправного элемента или множества элементов, среди которых находится неисправный. Поиск дефектов может осуществляться в неисправных, неработоспособных и в неправильно функционирующих устройствах во время наладки (при производстве) и во время ремонта (при эксплуатации и хранении). Результатом процесса поиска неисправностей является разбиение множества состояний W_2 (если исследуется неисправный объект) или множества состояний S (если исследуется неработоспособный объект) на классы неразличимых между собой (или эквивалентных) состояний, а также соответствующих им неисправностей. **Эквивалентными неисправностями** называются такие, которые нельзя отличить друг от друга при принятом для исследования устройства способе диагностирования. При этом решается вопрос – в каком из классов эквивалентных состояний находится ОД. Число классов определяет ту степень детализации, которая достигается при поиске неисправностей. Ее называют глубиной диагноза (поиска).

Например, в любой блочной системе дефекты всех элементов, входящих в один блок, образуют в большинстве случаев один класс эквивалентных неисправностей. Поиск неисправностей в этом случае ведется до неисправного блока, замена которого на исправный обеспечивает восстановление работоспособности системы.

Пятая задача диагностирования – **прогнозирование состояния** ОД, для решения которой изучается характер изменения диагностических параметров, и на основе сформировавшихся тенденций предсказываются значения параметров в будущий момент времени.

Эффективность диагностирования ОД достигается в том случае, когда задачи диагностирования учитываются на всех этапах жизни технического объекта (рисунок 2.1). При проектировании решаются общие вопросы организации системы диагностирования. На основе анализа ОД составляется диагностическая модель, проектируются технические средства диагностирования (СД), а также оценивается эффективность диагностирования.

При изготовлении объекта целесообразно одновременно производить и СД. При этом главной задачей является обеспечение всех требований, предъявляемых к ОД и СД. При сборке и наладке ОД может возникнуть задача поиска дефектов. На заключительной стадии осуществляется выходной контроль и производится проверка исправности объекта.

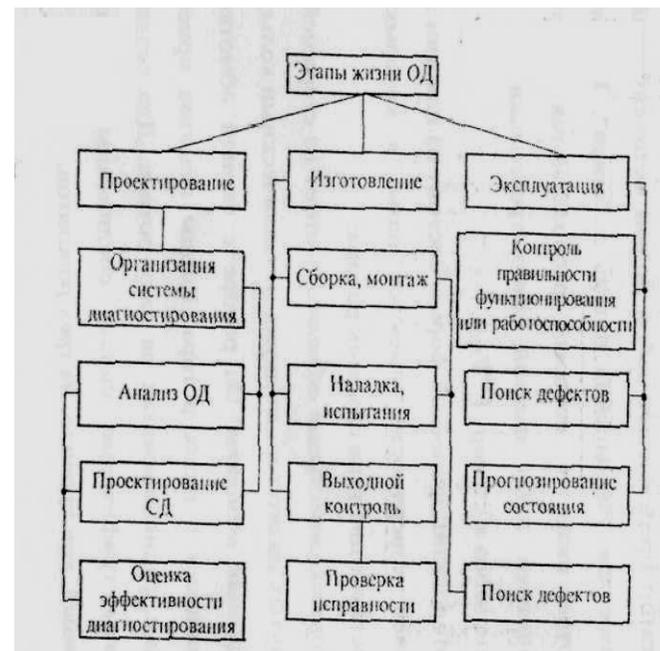


Рисунок 2.1 – Диагностирование на всех этапах жизни технического объекта

В процессе эксплуатации диагностирование ведется непрерывно или периодически с целью контроля правильности функционирования или работоспособности объекта. В случае необходимости осуществляются прогнозирование или поиск возникшего дефекта для выполнения профилактических или восстановительных работ. Диагностирование на этом этапе позволяет обоснованно принимать решения об использовании объекта в требуемый момент времени.

Объект диагноза ОД представляют в виде устройства (рисунок 2.2), имеющего входы и доступные для наблюдения выходы. Процесс диагностирования представляет собой последовательность операций, каждая из которых предусматривает подачу на входы объекта некоторого воздействия и определение на выходах реакции на это воздействие. Такую элементарную операцию называют проверкой π . В качестве выходов наблюдения могут служить основные или рабочие выходы системы, а также дополнительные (контрольные) выходы.

Совокупность проверок, позволяющую решать какую-либо из задач диагноза, называют тестом: $T = \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$. Под длиной теста L понимают число входящих в него проверок.

По назначению тесты делят на проверяющие и диагностические. Проверяющий тест T_{π} – это совокупность проверок, позволяющая обнаружить в системе любую неисправность из заданного списка (множества). Проверяющий тест решает задачи проверки исправности системы (в этом случае в список неисправностей включают все возможные в системе неисправности) и проверки работоспособности (в список включают только те неисправности, которые приводят к отказу системы).

Диагностический тест T_d – это совокупность проверок, позволяющая указать место неисправности с точностью до классов неисправностей. Он позволяет решать задачу поиска неисправностей.

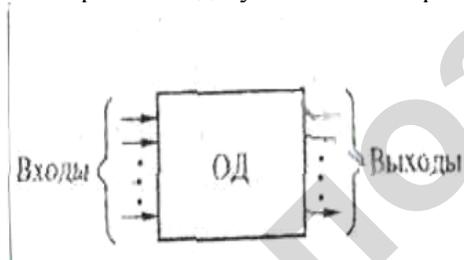


Рисунок 2.2 – Объект диагноза ОД

Объектами технического диагностирования в энергетике являются электротехнические аппараты, их отдельные узлы, имеющие свой ресурс, характеризующиеся предельным состоянием.

Техническая диагностика – это наука о методах и средствах определения (распознавания) технического состояния и обнаружения неисправностей (дефектов) изделий.

Техническое диагностирование – это процесс определения (распознавания) состояния объекта, конечным результатом которого служит заключение о его техническом состоянии.

Диагностирование или контролируемые параметры (признаки) – это характеристики объекта, используемые для определения его технического состояния. **Определяющие диагностические параметры** – это те, которые дают наиболее полные сведения о работоспособности объекта, оценивая его состояние в целом (например, температура нагрева двигателя характеризует его общее состояние). **Вспомогательные параметры** оценивают лишь отдельные свойства объекта или место неисправности (например, сопротивление изоляции характеризует лишь состояние электрической части электрооборудования).

Способ (алгоритм) диагностирования – это совокупность и последовательность действий, позволяющих определить техническое состояние объекта.

Требования по обеспечению качества измерений и оборудования должны соответствовать международным стандартам ИСО 10012-1:1992 и МЭК 60364-6-61-86.

Измерительное оборудование – технические средства, используемые при проверке, испытаниях и измерениях.

Примечание. Термин «измерительное оборудование» включает в себя все измерительные приборы, эталоны, стандартные образцы, вспомогательные средства измерений и инструкции, необходимые для проведения измерений.

Проверка – совокупность операций, выполняемых органами метрологической службы по определению пригодности средств измерений к применению, клеймению и (или) выдаче документа о проверке, подтверждающих, что средство измерений удовлетворяет узаконенным требованиям.

Измерение – совокупность операций, выполняемых для определения значения величины.

Испытания – техническая операция, заключающаяся в установлении одной или нескольких характеристик данной продукции, процесса или услуги, в соответствии с установленной процедурой.

Метод испытаний – установленный технический порядок проведения испытаний.

Влияющая величина – величина, которая не является объектом измерения, но оказывает влияние на значение измеряемой величины или на показания измерительного прибора.

Точность измерений – степень совпадения результата измерения и истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Недостоверность измерения – оценка диапазона, в котором должно находиться истинное значение измеряемой величины, обычно с заданной степенью вероятности.

Поправка – величина, которая при алгебраическом сложении с некорректированным результатом измерения компенсирует предполагаемую систематическую погрешность.

Измерительный прибор – устройство, предназначенное для проведения измерения самостоятельно или совместно с дополнительным оборудованием.

Эталон – вещественная мера, измерительный прибор, стандартный образец или система, предназначенные для определения, реализации, сохранения или воспроизведения единицы одного либо нескольких значений величины в целях передачи их другому измерительному прибору путем сличения.

Национальный эталон – эталон, признанный официальным государственным решением служить в стране в качестве основы для установления значений всех других эталонов соответствующей величины.

Системы диагностирования (СД) – совокупность объекта, способов и средств диагностирования. По назначению и виду решаемой диагностической задачи их условно разделяют на профилактические, дифференциальные, функциональные и прогнозирующие.

Профилактические СД предназначены для выявления в процессе эксплуатации дефектных деталей и элементов, выработавших свой ресурс, т. е. тех элементов объекта, параметры которых близки к предельно допустимым значениям (для выявления слабых мест объекта с целью вывода его в ремонт). С этой целью систематически проводят плановые профилактические испытания.

Дифференциальные СД служат для обнаружения отдельных неисправностей при плановом текущем обслуживании или ремонте электрооборудования. По полученным результатам уточняют вид

необходимого ремонта (текущий или капитальный) и состав его операций. Для дифференциального диагностирования применяют приборы общего и специального назначения. Простейшие омметры (мегомметры) позволяют выявлять неисправности типа «обрыв», «замыкание» в проводах, контактах, в изолирующих и др. элементах электрооборудования. Специальные приборы контроля влажности (ПКВ) позволяют определить степень увлажнения изоляции, а приборы типа высокочастотного измерителя (ВЧФ) – витковые замыкания в обмотках электрических машин. Кроме того, дифференциальное диагностирование проводят при помощи таблиц характерных неисправностей, которые есть в справочной литературе или в техническом описании конкретного электрооборудования.

Функциональные СД предназначены для оценки качества функционирования и работоспособности путем определения комплекса эксплуатационных свойств (характеристик) электрооборудования при контрольных, типовых или специальных испытаниях и сопоставления их с номинальными или нормируемыми значениями. Например, при контрольных испытаниях асинхронного двигателя определяют сопротивление обмоток постоянному току, сопротивление изоляции, ток и потери холостого хода, напряжение и потери короткого замыкания. Если измеренные параметры находятся в пределах установленных допусков, то двигатель признается работоспособным.

Прогнозирующие СД позволяют предсказать состояние изделия в будущем и определить вероятный момент появления отказа. Для этого оценивают остаточный ресурс элементов на основании информации о закономерностях изменения параметров в период, предшествующий прогнозу. Например, для подшипника известны фактическое и предельное значения зазора. Разделив разность этих значений на скорость изнашивания подшипника, получаем его остаточный ресурс, по которому легко определить ожидаемую дату отказа подшипника. Однако надежное прогнозирование освоено лишь для простейших случаев. При эксплуатации электрооборудования создание прогнозирующих СД связано с рядом методических трудностей, обусловленных сложностью процессов старения и износа электроустановок.

В известной мере прогнозирование реализуют при профилактическом испытании, так как статистические данные подтверждают высокую вероятность безотказной работы до очередного испытания

того электрооборудования, которое успешно выдержало текущее профилактическое испытание.

Существует ряд параметров, по которым может осуществляться непрерывный контроль или диагностирование состояния электрооборудования. При этом контроль может вестись по одному параметру (ток нагрузки, сопротивление изоляции, температура объекта или его изоляции и др.) или по комплексу параметров (например, температура и ток нагрузки и т. д.). Эти же принципы закладываются в современные защитные устройства, например, в автоматических выключателях с дифференциальной защитой и др.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое техническая диагностика?
2. Что такое техническое диагностирование?
3. Какие системы диагностирования вы знаете?

Тема 3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

План

Общая характеристика эксплуатационных свойств электрооборудования. Влияние условий эксплуатации на эксплуатационные свойства электрооборудования. Закономерности процессов старения и износа изоляции, электрических контактов подшипников и ТЭНов. Коррозия материалов, повреждения и износ других элементов электрооборудования.

3.1. Общая характеристика эксплуатационных свойств электрооборудования

Эксплуатационные свойства электрооборудования – это те его объективные особенности или признаки качества, которые характеризуют, в какой мере то или иное изделие соответствует требованиям эксплуатации. Чем полнее приспособлено электрооборудование к эффективному использованию и техническому обслуживанию (ремонту), тем выше его эксплуатационные свойства. Такие возможности закладываются при разработке и изготовлении электрооборудования, а реализуют – в процессе его эксплуатации.

Совокупность эксплуатационных свойств можно разделить на *общие*, присущие всем видам электрооборудования, и *специальные*, имеющие значение для конкретных групп электрооборудования. К общим свойствам относят надежность и технико-экономические свойства, а к специальным – технологические, энергетические, эргономические и др. На рисунке 3.1 приведена примерная классификация эксплуатационных свойств электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве.

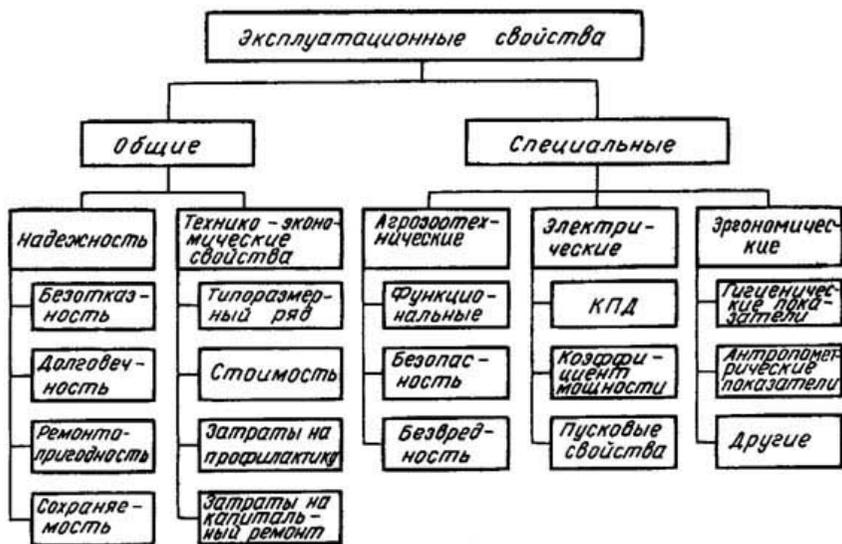


Рисунок 3.1 – Классификация эксплуатационных свойств оборудования

Численную оценку эксплуатационных свойств осуществляют при помощи единичных или комплексных показателей (параметры, характеристики). Единичный показатель относится только к одному свойству либо одному его аспекту, а комплексный – к нескольким свойствам. Каждый показатель может по-разному учитывать фактор времени. По этому признаку их разделяют на номинальные, рабочие и результирующие показатели.

Номинальные показатели – это указанные изготовителем электрооборудования значения основных параметров, регламентирующие его свойства и служащие исходными для отсчета отклонений от этого значения при испытаниях и эксплуатации. Их указывают в технической документации и на заводском щитке электрооборудования.

Рабочие показатели – это фактические значения, наблюдаемые в данный момент эксплуатации при конкретном сочетании действующих факторов. Они дают обычно «точечную» оценку свойств.

Результирующие показатели – это средние или средневзвешенные значения за некоторый период эксплуатации (сезон, год или срок службы). Они составляют более полное представление об эффективности использования и результативности обслуживания

(ремонта) электрооборудования. Эксплуатация должна быть налажена таким образом, чтобы результирующие показатели были не ниже номинальных.

Надежность – это свойство электрооборудования выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в установленных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования (ГОСТ 27.002).

Технико-экономические показатели характеризуют типоразмерный ряд, стоимость приобретения, монтажа, обслуживания и ремонта электрооборудования.

Типоразмерный ряд конкретного вида электрооборудования определяет номенклатуру электрооборудования по мощности, напряжению, исполнению и др. параметрам. Чем больше шкала типоразмеров, тем точнее можно подобрать электрооборудование к условиям эксплуатации. Чтобы удовлетворить растущие требования к качеству электрооборудования со стороны потребителя, электротехническая промышленность непрерывно увеличивает номенклатуру выпускаемых изделий. Например, первая серия электродвигателей имела 9, вторая – 17, а четвертая – более 25 модификаций и специализированных исполнений.

Однако излишняя многономенклатурность электрооборудования затрудняет организацию рациональной его эксплуатации из-за неизбежных сложностей приобретения и хранения большого количества запасных деталей, материалов, инструментов и приборов. Повышаются требования к квалификации эксплуатационного персонала. Поэтому производители стремятся к выпуску электрооборудования с оптимальной структурой его типоразмерного ряда.

Стоимостные показатели дают обобщенную и сопоставимую оценку электрооборудования. Они необходимы при обосновании оптимальной периодичности обслуживания (ремонта) и нагрузки электрооборудования, при расчете резервного фонда и решении ряда других эксплуатационных задач

Оптимальные значения результирующих показателей эксплуатационных свойств определяются суммарными затратами на разработку и использование электрооборудования. Повышение надежности или КПД связано с увеличением затрат на создание или техническую эксплуатацию, но при этом удается снизить технологический ущерб из-за отказов электрооборудования, потери электроэнергии и затраты на капитальный ремонт. Стоимостные показате-

тели позволяют сопоставить названные конкурирующие варианты и найти наилучшее решение.

Технологические свойства характеризуют соответствие электрооборудования агроэлектротехнологическим или другим специальным требованиям. По отношению к животным и растениям электрооборудование общего назначения (двигатели, трансформаторы и т. п.) должно быть безопасным и безвредным, а специальное электрооборудование (облучатели, нагреватели и т. п.) – оказывать необходимое положительное воздействие на животных (растения). Например, если облучательная установка не обеспечивает заданный спектральный состав излучения, то вместо ожидаемого укрепления организма животного может наступить его заболевание.

Правильный выбор электрооборудования по технологическим свойствам и поддержание этих свойств в процессе эксплуатации обеспечивают не только высокое качество технологического процесса, но и экономию энергоресурсов.

Энергетические свойства отражают способность электрооборудования потреблять (производить, распределять) электроэнергию с высокой эффективностью в отношении КПД, коэффициента мощности и других энергетических показателей, а также приспособленность к переходным (пуск, торможение) и другим режимам работы. Хорошие энергетические свойства должны быть у любого вида электрооборудования сельскохозяйственного назначения. Такое электрооборудование подключают к источнику питания через протяженные электрические сети с многократной трансформацией энергии. Система электроснабжения имеет невысокий КПД (70 %), поэтому сельские электроприемники с низкими энергетическими свойствами вызывают огромные потери электроэнергии, трудно запускаются и нестабильно работают.

При оценке энергетических свойств необходимо учитывать не только номинальные, но и результирующие показатели. Рассмотрим рабочие характеристики КПД двигателей, показанные на рисунке 3.2. Номинальный КПД первого двигателя значительно выше, чем второго. Но это не может служить основанием для правильного выбора первого двигателя, так как повышенные значения КПД у него наблюдаются лишь в узком интервале нагрузок, а за пределами этого интервала энергетические свойства резко ухудшаются.

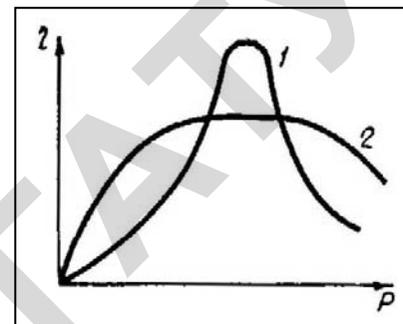


Рисунок 3.2 – Характеристики КПД двигателей:

1, 2 – номинальные КПД первого и второго двигателей

При использовании таких двигателей трудно обеспечить для каждого из них строго оптимальную нагрузку. Поэтому средний КПД группы двигателей будет ниже номинального.

У второго двигателя высокие значения КПД наблюдаются в широком диапазоне нагрузок. При применении таких двигателей их суммарный результирующий КПД будет близок к номинальному значению.

Таким образом, электрооборудование должно иметь высокие энергетические показатели в достаточно широком интервале изменения нагрузок, питающего напряжения и других эксплуатационных факторов. При этом следует учитывать, что почти все факторы имеют случайный характер изменения.

Эргономические свойства определяют соответствие электрооборудования психофизиологическим возможностям обслуживающего персонала. Они оцениваются по гигиеническим, антропометрическим, физиологическим и психологическим показателям, установленным ГОСТ 26387.

В группу гигиенических показателей входят уровни освещенности, запыленности, шума, вибрации, напряженности магнитного поля и др. Обычно новое электрооборудование имеет удовлетворительные гигиенические показатели, но в процессе эксплуатации они ухудшаются. Особенно нестабильны механические и магнитные виброшумовые воздействия. Своевременное и качественное техническое обслуживание позволяет поддерживать гигиенические показатели на требуемом уровне.

К антропометрическим относят показатели, характеризующие соответствие конструкции и размещения электрооборудования физическим данным обслуживающего персонала. При правильном размещении электроустановки ее легко обслуживать. Распределительные щиты и пункты могут не в полной мере удовлетворять этим требованиям, если они объемно расположены в узких проходах, на большой высоте и т. п.

Другие эргономические свойства электрооборудования должны соответствовать зрительным, слуховым, силовым и рефлекторным возможностям человека и его профессиональным трудовым навыкам.

3.2. Анализ влияния эксплуатационных воздействий на развитие процессов повреждения электрических машин

3.2.1. Характеристика эксплуатационных воздействий на электрооборудование в сельском хозяйстве

Надежность электрических машин в значительной степени определяется надежностью их обмоток, которая, в свою очередь, зависит от состояния изоляции. Последняя работает в сложных, часто весьма неблагоприятных условиях. В процессе длительной эксплуатации электрических машин они подвергаются разнообразным эксплуатационным воздействиям.

Температура окружающей среды является наиболее распространенным фактором, воздействующим на электрические машины, работающие при широких диапазонах колебаний как суточных, так и сезонных температур. Большинство силовых трансформаторов сельских трансформаторных подстанций подвержены воздействию температуры воздуха и солнечной радиации, электродвигатели насосных станций в теплые месяцы года испытывают воздействие высоких температур окружающей среды (до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$). В зимние месяцы эти агрегаты, в которых, как правило, отсутствует отопление, подвергаются воздействию низких температур (до $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Многие технологические линии и отдельные рабочие машины находятся либо на открытом воздухе, либо в неотапливаемых помещениях, поэтому электродвигатели привода этих машин также подвержены неблагоприятным температурным воздействиям.

Перегрузки электродвигателей нередко связаны с несовершенством рабочих машин и механизмов. Отсутствие средств автоматизации и контроля за нагрузкой кормодробилок, кормораздатчиков

является тому примером. Ряд механизмов (например, дробилки, шнеки, норки) порой включаются под нагрузкой. Зимой часто смерзаются подвижные части рабочих машин, они же нередко увеличивают свою массу за счет прилипания остатков кормов, навоза и т. д., в результате чего увеличиваются силы трения и маховые моменты. Всевозможные перекосы, износы трущихся частей, ухудшение смазки затрудняют подвижность рабочих органов, увеличивают трение. Все это ведет к перегрузкам двигателей, затяжным пускам, к работе в режиме опрокидывания. Поэтому, несмотря на неполную загруженность электродвигателей в сельском хозяйстве (коэффициент загрузки составляет $0,5-0,8$), значительная часть их выходит из строя по причине перегрузок.

Особо опасным эксплуатационным воздействием для изоляции электрических машин обладает свертток. Затяжные пуски, опрокидывания электродвигателей, возникающие при снижении напряжения, неполнофазных режимах, заклиниваниях рабочих машин приводят к возникновению сверттоков. Силовые трансформаторы подвержены воздействию токов короткого замыкания в питаемых сетях, пусковых токов электродвигателей в условиях соизмеримой мощности.

В связи с тем, что нагрузки имеют явно выраженный сезонный характер, а мощность отдельных потребителей часто соизмерима с мощностью трансформаторов, при отсутствии регуляторов напряжения и большой протяженности сетей $0,38\text{ кВ}$ напряжение в сельских сетях изменяется в значительных пределах: при питании от государственных систем электроснабжения – от $0,85 U_n$ до $1,15 U_n$, а при питании от собственных электростанций – от $0,8 U_n$ до $1,2 U_n$. В моменты пуска двигателей, особенно в условиях соизмеримой мощности напряжение снижается до $0,65 U_n$. Кроме того, наблюдается неравномерная нагрузка по фазам, что сопровождается перекосами напряжения. Все это также приводит к тепловым перегрузкам электродвигателей.

Для возникновения такого фактора эксплуатационного воздействия, как неполнофазные режимы, может быть очень много причин, в том числе: перегорание одного из предохранителей на щите трансформаторной подстанции, обрыв провода линии электропередачи, повреждения контакта пусковой аппаратуры, контакта в коробке ввода электродвигателя, жилы кабеля, окисление алюминиевого провода в местах контакта (особенно в животноводческих помещениях) и т. д. Довольно часто при эксплуатации электродвигателей наблюдается

ухудшение условий охлаждения по причине засорения поверхностей электродвигателей продуктами переработки, снятия вентиляторов и т. п.

Изоляция обмоток асинхронных электродвигателей подвергается воздействию коммутационных перенапряжений, которые могут достигать десятикратной (и более) величины по отношению к номинальному напряжению, что является в большинстве случаев непосредственной причиной межвитковых замыканий. Коммутационные перенапряжения, представляя собой случайные явления, имеют статистический характер. Их вероятная величина зависит от числа коммутационных операций, которое, в свою очередь, пропорционально времени работы электрической машины.

Разрушительным фактором эксплуатационного воздействия для изоляционной конструкции электрических машин является вибрация. Действие вибрации на всыпные обмотки выражается в постепенном разрушении пропиточного лака, в результате чего нарушается цементация обмотки и отдельные проводники приобретают некоторую свободу перемещения. Это ведет к разрушению витковой изоляции в точках соприкосновения соседних проводников. Измерение величины вибрационного смещения (удвоенное значение амплитуды колебания) электродвигателей показало, что оно имеет широкий диапазон значений (в пределах от 0,005 до 0,9 мм). Частота вибрации большинства корпусов электродвигателей оказалась равной 50 Гц. Особенно характерна вибрация для электродвигателей рабочих машин типа дробилок.

Сильное эксплуатационное воздействие на электрические машины в сельском хозяйстве оказывают влага и химически активные среды. Влага проникает в изоляцию машины главным образом в периоды их нерабочего состояния. Особенно интенсивно этот процесс идет во время остывания машины, так как в этот период давление в порах и капиллярах изоляции несколько ниже атмосферного. Малая вязкость и другие свойства воды способствуют ее прониканию в мельчайшие поры, гидrolитическому разрушению изоляционных материалов и расщеплению полимерных цепей. Сопротивление изоляции и ее электрическая прочность снижаются, создаются предпосылки для появления токов утечки.

Вредное действие на изоляцию оказывают химически активные вещества. Загазованность стойловых животноводческих помещений аммиаком, углекислым газом, сероводородом приводит к быстрой порче изоляции электрических машин.

Процессы старения изоляции от различных эксплуатационных воздействий активизируются и прогрессируют. Изоляционные конструкции, прошедшие период приработки и не имеющие больших скрытых дефектов, крайне редко отказывают вследствие внезапного пробоя. Разрушение изоляции происходит постепенно, причем иницилирующая роль принадлежит процессам теплового старения. Даже при сравнительно невысоких температурах, когда термоокислительная деструкция незначительна, под действием тепла происходит усыхание, испарение летучих компонентов, уменьшение эластичности изоляции, повышение ее хрупкости. Последнее способствует развитию процессов механического старения. В изоляции появляются трещины и другие дефекты, она расслаивается и разрыхляется, что создает условия для возникновения ионизационных явлений. Разрушение изоляции происходит неравномерно и завершается пробоем в наиболее слабом месте. Влага и агрессивные среды способствуют ускорению и активизации процессов старения.

Таким образом, двигатели в условиях сельскохозяйственного производства испытывают эксплуатационные воздействия: графика нагрузки; температуры окружающей среды; перегрузок, вызванных особенностями рабочей машины; пусковых режимов (длительность, частота); отклонения напряжения на зажимах; асимметрии напряжения на зажимах; изменения условий охлаждения (засорения поверхностей корпусов, работа без вентилятора); коммутационных перенапряжений в питающей сети и возникающих в цепи электродвигателя при пусках и отключениях; толчков, вибраций, ударов со стороны рабочих машин; влажности окружающей среды; агрессивных сред.

Аналогично, силовые трансформаторы в условиях сельскохозяйственного производства испытывают эксплуатационные воздействия графика нагрузки; температуры окружающей среды; перегрузок; пусковых токов электродвигателей; токов короткого замыкания в питаемых сетях; коммутационных перенапряжений в питающих сетях; влажности окружающей среды.

Эксплуатационные воздействия на электрические машины одновременно являются и эксплуатационными воздействиями на силовые кабели и провода. Поэтому они должны рассматриваться совместно.

Силовые кабели и провода испытывают эксплуатационные воздействия графика нагрузки, температуры окружающей среды, перегрузок, пусковых токов электродвигателей, токов короткого замыкания.

3.2.2. Особенности влагообмена между изоляцией и окружающей средой

Электрическая изоляция – важнейший элемент электрооборудования. В 80 % отказы электрооборудования обусловлены повреждением изоляции. Повреждение изоляции происходит из-за электрического или (и) теплового пробоя, механических разрушений, химических изменений (старения).

Почти 50 % всех видов электрооборудования размещаются во влажных, сырых и очень сырых сельскохозяйственных помещениях. При относительной влажности выше 60 % активно проявляется атмосферная коррозия металлов.

Влажность среды, аммиак, всегда содержащийся в животноводческих помещениях, и резко переменные температуры оказывают отрицательное воздействие на электрооборудование, особенно на его изоляцию. В результате такого воздействия сокращается срок службы электрооборудования.

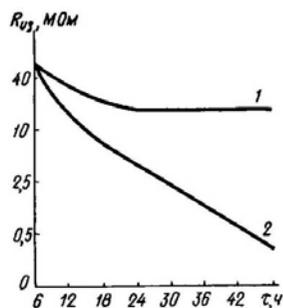


Рисунок 3.3 – Изменение сопротивления изоляции двигателя во влажной среде (1) и во влажной среде с аммиаком (2)

Увлажнение изоляции сопровождается ухудшением диэлектрических характеристик, особенно интенсивным в периоды нерабочих пауз. На рисунке 3.3 приведены зависимости изменения R изоляции от продолжительности пребывания в испытательной камере со 100%-ной относительной влажностью без аммиака (1), с аммиаком (2). Между изоляцией электрооборудования и окружающей средой постоянно происходит влагообмен. Способность поглощать и отдавать влагу зависит от вида изоляции, конструкции электрооборудования, его состояния (холостой ход, нерабочая пауза, работа под нагрузкой и перегрузкой).

Для упрощения рассмотрения физики процесса 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 электрооборудование закрытого обдуваемого исполнения негерметично, влажный воздух из окружающей среды контактирует с изоляцией. При этом может происходить как увлажнение изоляции, так и ее осушение (в зависимости от режима работы электрооборудования).

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, т. е. ход процесса в сторону сушки или увлажнения.

Внутренняя диффузия наблюдается в виде движения влаги в жидком или газообразном состояниях 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 более нагретых слоев изоляции к менее нагретым.

Полный поток влаги определяют по формуле:

$$m = m_p + m_\omega + m_t, \quad (3.1)$$

где m_p , m_ω , m_t – масса влаги, проходящей через площадь сечения в единицу времени под воздействием соответствующего градиента.

Каждый из этих компонентов выражают известными соотношениями:

$$\begin{aligned} m_p &= k_p \text{grad } p; \\ m_\omega &= k_\omega \text{grad } \omega; \\ m_t &= k_t \text{grad } t, \end{aligned} \quad (3.2)$$

где k_p , k_ω , k_t – соответственно коэффициенты молярного переноса пара, влагопроводности и термовлагообмена (термодиффузии).

Изменение влагосодержания изоляции в процессе эксплуатации можно проследить по изменению сопротивлению изоляции.

Когда электрооборудование находится в нерабочем состоянии в помещении с высокой относительной влажностью, на его изоляцию воздействует только градиент влажности. Изоляция поглощает влагу из воздуха – происходит процесс увлажнения. Вначале увлажняются наружные слои изоляции, далее процесс продолжается, увлажняются внутренние слои. Процесс увлажнения продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто равновесное состояние увлажненности изоляции и окружающей среды. Увлажнение изоляции приводит к резкому снижению ее диэлектрических характеристик: сопротивления изоляции, электрической прочности и др. Характер изменения сопротивления изоляции обмотки неработающего электродвигателя и его влагосодержание во времени представлены на рисунке 3.4.

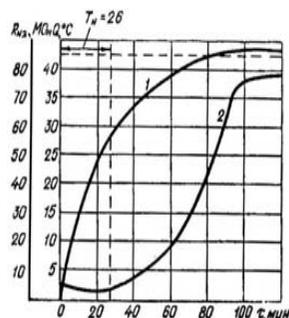


Рисунок 3.4 – График изменения сопротивления изоляции при осушении сильно увлажненного электродвигателя:
1 – температура нагрева; 2 – сопротивление изоляции

При установившемся равновесии происходит стабилизация сопротивления изоляции. После включения электрооборудования в работу начинают нагреваться его токоведущие части. В начальный период после пуска более нагретыми оказываются витковая изоляция обмотки и изоляция, расположенная ближе к виткам обмотки, в результате чего создается положительный градиент температуры – поток теплоты 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», пары влаги проникают в мельчайшие поры изоляции, и сопротивление изоляции обмотки снижается. В зависимости от начального влагосодержания и структуры изоля-

ции снижение сопротивления при ее разогреве будет различным. В одних случаях (при относительно сухой изоляции) снижение сопротивления изоляции невелико, в других случаях (сильно увлажненная изоляция) – значительно, представляет собой опасность для электрической прочности изоляции. Последнее необходимо учитывать при эксплуатации сельских установок.

Следует отметить, что пробой сильно увлажненной изоляции наступает не в момент включения электрооборудования, например, в сеть, а спустя некоторое время после того, как изоляция разогреется и «распарится». Отмеченное явление может быть использовано для разработки быстродействующей защиты увлажненного электродвигателя, работающего на принципе скорости изменения, при минимальном сопротивлении изоляции обмотки.

При дальнейшем росте температуры обмотки влага начинает испаряться вначале с поверхности обмотки, при этом направление потоков теплоты и влаги совпадают. Наложение процессов влаго- и теплопроводности приводит к возникновению термо- и влагопроводности.

Возрастание температуры влаги и воздуха, находящихся в порах изоляции, вызывает повышение их давления – дополнительно возникает градиент давления в разных зонах паза.

В этот период происходит перемещение паров влаги из изоляции в окружающую среду, т. е. процесс сушки. Сопротивление изоляции электродвигателя возрастает.

При длительной работе электродвигателя влага, находящаяся в изоляции, будет удалена – произойдет процесс осушения. При этом сопротивление изоляции достигнет установившегося значения для данной температуры. После отключения электродвигателя он начнет охлаждаться, в изоляции обмотки возникнут обратные процессы, т. е. она начнет увлажняться.

Таким образом, в изоляции нормально работающего электродвигателя произойдет влагообмен, она осушится или увлажнится.

Скорость удаления влаги из обмотки электродвигателя в процессе работы зависит от следующих факторов: гигроскопических свойств изоляционного материала; степени увлажнения изоляции; степени загрузки электродвигателя; температуры и влажности окружающей среды.

Обмотки, пропитанные водоэмульсионными лаками, можно высушить электрическим током при ремонте в течение 1,5–2 ч.

Продолжительность сушки изоляции электродвигателя при работе обычно меньше.

С некоторыми допущениями можно считать продолжительность сушки пропорциональной скорости нарастания температуры. Минимально возможная продолжительность сушки близка к продолжительности нагрева электродвигателя до установившегося значения, но с учетом инерционности возникающих процессов она всегда больше последней. Чем сильнее увлажнена изоляция, тем длительнее процесс «распаривания», больше сдвиг между нагревом и началом сушки и больше общая продолжительность процесса (см. рисунок 3.2). После включения электродвигателя в работу сопротивление изоляции обмоток уменьшается (на 30–50 %), а затем возрастает и достигает установившегося значения. При этом сопротивление изоляции электродвигателя может быть равно первоначальному сопротивлению изоляции (перед пуском) или же превышать его в 2–8 раз. Чем сильнее был увлажнен электродвигатель перед работой, тем выше относительное значение установившегося сопротивления изоляции.

Исследования в производственных условиях подтвердили, что в нерабочем режиме сопротивление изоляции электродвигателя снижается. Чем меньше продолжительность работы и больше простой электродвигателя, тем сильнее увлажняется изоляция и тем меньше значение установившегося сопротивления в нерабочем режиме.

Эксплуатация электродвигателя в кратковременном режиме работы значительно ухудшает состояние изоляции. Постоянно включенный в работу электродвигатель оказывается все время нагретым, влага из окружающей среды не может проникать внутрь оболочки электродвигателя, он работает с сухой изоляцией обмотки. В этом случае изоляция обмотки претерпевает только естественные изменения, связанные с тепловым старением. Если температура обмотки электродвигателя не превышает допустимой для данного класса изоляции, то электродвигатель будет надежно работать.

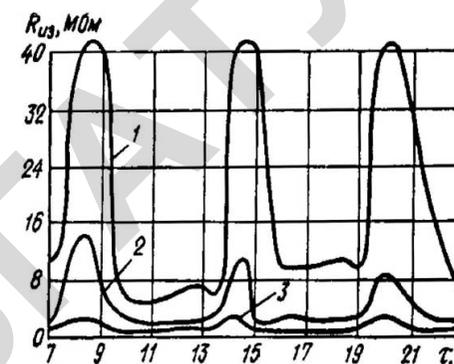


Рисунок 3.5 – График изменения сопротивления изоляции электродвигателя навозоуборочного транспортера в течение суток:

1 – вторые сутки работы; 2 – десятые сутки; 3 – двадцатые сутки работы

На рисунке 3.5 показано изменение сопротивления изоляции электродвигателя АО2, установленного на навозоуборочном транспортере, с трехкратным включением в течение суток.

Любое увлажнение изоляции обмоток электродвигателей нежелательно, так как снижение ее сопротивления может достигнуть опасной степени. Однако еще более нежелателен процесс влагообмена в агрессивной среде, например, в животноводческих помещениях с содержанием аммиака. Таким образом, электродвигатели с кратковременным режимом работы, особенно во влажной агрессивной среде, быстрее увлажняются и выходят из строя.

Аналогичные процессы с известными особенностями происходят и в других видах электрооборудования (изоляция электрических кабелей, обмотки пускозащитной аппаратуры и т. д.).

3.2.3. Влияние режимов и условий эксплуатации на срок службы оборудования

Срок службы электрооборудования – это календарная продолжительность эксплуатации машины и ее элементов до момента возникновения предельного состояния, оговоренного в технической документации или до списания.

Ресурс – суммарная наработка изделия до предельного состояния, оговоренного в технической документации.

Наработка – это продолжительность или объем работы в часах, моточасах, километрах пробега или других единицах.

Предельное состояние изделия или механизма возникает вследствие постепенных отказов, вызванных постепенным изнашиванием, старением деталей и узлов. Важнейшими факторами, оказывающими воздействие на долговечность изделий, являются температурные условия их работы, концентрация окислителей в зоне нахождения изделий, динамические нагрузки и т. п. В общем виде старение изделий (в частности, электрической изоляции как одной из важнейших составляющих электрических изделий), подчиняется законам химической кинетики, в том числе закону Я. Вант Гоффа – С. Арениуса:

$$\ln K = (B / \theta) + D, \quad (3.3)$$

где K – постоянная скорости реакций; θ – абсолютная температура, °K;
 B и D – коэффициенты, зависящие от условий работы изделий.

Факторы, влияющие на надежность электрооборудования

Опыт эксплуатации показывает, что надежность электротехнических устройств (ЭТУ) зависит от многочисленных и разнообразных факторов. Условно они могут быть разделены на 3 основные группы: конструктивные, производственные, эксплуатационные.

Конструктивные факторы обусловлены установкой в устройство малонадежных элементов; недостатками схемных и конструктивных решений, принятых при проектировании; применением комплектующих элементов, не отвечающих условиям окружающей среды. Производственные факторы обусловлены нарушениями технологических процессов, загрязненностью окружающего воздуха, рабочих мест и приспособлений, слабым контролем качества изготовления и монтажа и др. При изготовлении и монтаже ЭТУ большое влияние на их надежность оказывают процессы хранения и транспортировки, во время которых они часто повреждаются.

Наибольшее влияние на надежность ЭТУ оказывают условия эксплуатации. Удары, вибрация, перегрузки, температура, влажность, солнечная радиация, песок, пыль, плесень, корродирующие жидкости и газы, электрические и магнитные поля – все это влияет на работу устройств. Поэтому необходимо, чтобы обслуживающий персонал хорошо знал уровень, продолжительность, характер воздействия каждого из перечисленных выше факторов и степень

их влияния на надежность работы ЭТУ. Это особенно важно, поскольку различные условия эксплуатации по-разному могут сказываться на сроке службы и надежности работы электроустановок.

Ударно-вибрационные нагрузки. Воздействие их может быть в ряде случаев значительнее воздействия других механических, а также электрических и тепловых нагрузок. В результате длительного знакопеременного воздействия даже небольших ударно-вибрационных нагрузок происходит накопление усталости в элементах, что приводит к отказам, обычно внезапным. Вследствие вибраций и ударов возникают многочисленные механические повреждения элементов конструкции, ослабляются крепления элементов и нарушаются контакты электрических соединений.

Нагрузки при циклических режимах работы, связанных с частичными включениями и отключениями ЭТУ. Эти нагрузки, так же как и ударно-вибрационные, способствуют возникновению и развитию признаков усталости элементов. Опыт показывает, что частые включения и выключения устройств приводят к довольно частым отказам их элементов. Физическая природа повышения опасности отказов устройств при их включении и выключении заключается в том, что во время переходных процессов в их элементах возникают сверхтоки и перенапряжения, значения которых часто намного превосходят, хотя и кратковременно, значения, допустимые по техническим условиям.

Электрические и механические перегрузки. Электромеханическим устройствам очень часто приходится работать в режиме перегрузок. Причинами их могут быть неисправность механизмов, значительные превышения частоты или напряжения питающей сети, загустение смазки механизмов в холодную погоду, превышение номинальной расчетной температуры окружающей среды в отдельные периоды года и дня, высокая загрузка в моменты форсирования производственного процесса и т. д. Перегрузки приводят к повышению температуры нагрева изоляции ЭТУ выше допустимой и резкому снижению срока ее службы.

Климатические воздействия. Существенное влияние на надежность и долговечность любого ЭТУ оказывает окружающая среда. Больше всего на устойчивость и надежность работы устройств влияют низкая и высокая температуры, высокая влажность. При низких температурах снижается ударная вязкость металлических деталей ЭТУ; меняются значения технических параметров таких элементов, как конденсаторы, реакторы, резисторы;

происходит «залипание» контактов реле; разрушается резина. Из-за замерзания или загустения смазочных материалов затрудняется работа переключателей, ручек управления и т. д.

Высокие температуры также вызывают механические и электрические повреждения элементов ЭТУ, ускоряя их износ и старение. Влияние повышенной температуры на надежность работы ЭТУ проявляется в самых разнообразных формах. В жару портятся изоляционные материалы, уменьшается сопротивление изоляции, а, значит, увеличивается опасность электрических пробоев, нарушается герметичность (начинают вытекать заливочные и пропиточные компаунды). В результате нарушения изоляции в обмотках электромагнитов, электродвигателей и трансформаторов возникают повреждения. Заметное влияние оказывает повышенная температура на работу механических элементов ЭТУ.

Большое воздействие на надежность элементов электроустановок оказывает влажность. Под влиянием влаги происходит очень быстрая коррозия металлических деталей ЭТУ. Изоляционные материалы устройств поглощают влагу, в результате чего уменьшается поверхностное и объемное сопротивление. Появляются различные утечки, резко увеличивается опасность поверхностных пробоев. Высокая влажность вызывает также рост грибковой плесени, под воздействием которой поверхность материалов разъедается, электрические свойства устройств ухудшаются.

Воздействие пыли. На надежность ЭТУ влияет пыль, представляющая собой объемно мелкие частицы. Эти частицы попадают в смазку, оседают на частях и механизмах электротехнических устройств и вызывают быстрый износ трущихся частей и загрязнение изоляции. Пыль наиболее опасна для электродвигателей, в которые она попадает с воздухом, засасываемым для вентиляции. Однако и в других элементах ЭТУ износ намного ускоряется, если пыль проникает сквозь уплотнения на поверхности трения. Поэтому при большой запыленности особое значение приобретает качество уплотнений элементов ЭТУ и уход за ними. Качество эксплуатации ЭТУ зависит от степени научной обоснованности применяемых методов эксплуатации и обслуживания, уровня подготовки обслуживающего персонала (знание материальной части, теории и практики надежности, умение быстро находить и устранять неисправности и т. п.).

3.2.4. Защита электроустановок от воздействия окружающей среды

Одним из решающих факторов, определяющих надежность электрооборудования в сельском хозяйстве, является его коррозионное состояние. Коррозия – самопроизвольное разрушение твердых элементов электрооборудования вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с окружающей средой. Защита электропроводок от коррозии входит в число первоочередных задач при их эксплуатации.

В номенклатуру электрооборудования, применяемого в сельском хозяйстве, входят разнообразные электродвигатели, аппараты управления и защиты, светотехнические устройства, а также целый ряд вспомогательных деталей, обеспечивающих монтаж и безопасную работу электроустановок. В специфических условиях сельскохозяйственного производства к ним предъявляются особые требования по конструктивному исполнению, способам защиты в процессе эксплуатации от воздействия окружающей среды.

Особенностью комплектных электротехнических изделий (рубильников, пускателей, автоматических выключателей контактов и др.) является то, что детали их изготовлены из самых разнородных материалов и сплавов, что приводит при их сопряжении и отсутствии электрического разобщения в условиях повышенной влажности к интенсивному развитию контактной коррозии. Сложность защиты этих изделий состоит в том, что в данном случае исключается возможность электрического разобщения деталей изоляционными прокладками или лакокрасочным покрытием, как это рекомендуется для изделий общего машиностроения. Кроме того, в настоящее время нет надежных способов защиты от воздействия агрессивных сред электрических контактов, магнитных систем и пружин.

Повышение долговечности электрооборудования может быть достигнуто путем применения коррозионно-стойких материалов, ингибиторов коррозии, стойких защитных покрытий, изоляцией электротехнических изделий от агрессивной атмосферы или снижением уровня агрессивности атмосферы сельскохозяйственных помещений с помощью эффективной приточно-вытяжной вентиляции. Естественно, выбор того или иного варианта следует делать на основе технико-экономических расчетов.

В настоящее время существует ряд мероприятий по защите электрооборудования от вредного воздействия агрессивной среды, каждое из которых, наряду с положительными сторонами, не лишено недостатков. Наиболее известными из них являются: обогрев электродвигателей и пускозащитной аппаратуры лампами накаливания; размещение пускозащитных аппаратов в герметичных оболочках; применение летучих ингибиторов; размещение электрических аппаратов вне помещений с неблагоприятной средой; использование электроаппаратов в тропическом исполнении, применение влагопоглотителей; заливка обмоток электродвигателей эпоксидными компаундами.

Во избежание конденсации влаги на поверхности и внутри щитов и пультов управления в них устанавливаются специальные подогреватели (лампы накаливания, сопротивления и т. п.). При температуре воздуха +25–40 °С повышение ее на 2–3 °С снижает относительную влажность до 90 %, на 5 °С – до 75–80 %. Однако необходимость снижения влажности до 60–70 % влечет за собой повышение температуры, по сравнению с окружающей средой, на 10 °С. Это вызывает значительный дополнительный расход электроэнергии, а для единичных аппаратов – вообще неприемлемо.

Достаточно эффективным способом защиты электрических аппаратов от воздействия окружающей среды является создание химостойких герметичных оболочек. Например, в последнее время широкое применение получили распределительные устройства серии РУС, представляющие собой специальные оболочки, в которых размещается пускозащитная аппаратура общепромышленного исполнения. Однако обследование РУС, установленных в животноводческих помещениях [ХВ], показало, что желаемого результата в ряде случаев не наблюдается. Объясняется это тем, что невозможно добиться герметизации в местах ввода электрических проводов, так как используемые при этом упругие органические материалы (резина, поливинилхлорид и др.) сами отчасти влагопроницаемы. Кроме того, монтаж на объектах, как правило, осуществляется проводами и кабелями, с сечением, отличающимся от входных отверстий уплотнителей.

Одним из эффективных способов защиты электрических аппаратов от воздействия окружающей среды в животноводстве является размещение пускозащитной аппаратуры электроприводов вне помещений для содержания животных. Однако полностью вынести всю аппаратуру управления невозможно, так как пульты управления, кнопки и рубильники должны быть в зоне видимости работающего. Кроме того,

значительное удаление магнитных пускателей от электроприводов снижает надежность работы тепловой защиты и влечет за собой повышенный расход проводов и кабелей.

В настоящее время с целью повышения работоспособности электроустановок применяют специальные аппараты в тропическом исполнении. Однако это оборудование, во-первых, дорогостоящее, так как изготавливается из легированных материалов, во-вторых, специфические условия сельскохозяйственных помещений не позволяют использовать некоторые антикоррозионные материалы ввиду несоответствия их механических свойств условиям эксплуатации.

Применение влагопоглотителей также не является кардинальным решением вопроса, поскольку они впитывают ограниченное количество влаги и их нужно периодически заменять. Например, часто применяемый силикагель может использоваться не более 6 месяцев.

В Челябинском государственном агроинженерном университете разработан способ защиты электрических аппаратов летучими ингибиторами коррозии металлов. Он заключается в том, что в замкнутое пространство кожуха помещается защитный элемент – картон, пенопласт, фетр или др. пористый материал, пропитанный раствором летучего ингибитора. Испаряясь с поверхности элемента, ингибитор адсорбируется на поверхности металла и образует пленку (надежная защита от коррозии). Способ прост в применении, позволяет защитить детали сложной конфигурации, дает значительный экономический эффект. Однако недостатком ингибиторов является проявление эффекта лишь в узком интервале концентраций, кроме того они (в большинстве случаев) высокотоксичные соединения.

3.2.5. Влияние качества электроэнергии на работу электрооборудования

Качество электрической энергии – важный фактор, определяющий эксплуатационную надежность и эксплуатационные характеристики электрооборудования. В соответствии с ГОСТ 13109 нормируется 8 основных и 10 дополнительных показателей. При этом указываются допустимые и предельно допустимые значения параметров. Отклонения напряжения составляют $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$, частоты – $\pm 0,2$ и $\pm 0,4$ Гц; некоторые из показателей носят комплексный характер: несимметрия напряжений характеризуется коэффициентами

нулевой (κ_0) и обратной (κ_2) последовательностей, колебания напряжения – размахом напряжения (δU) и дозой фликера (P_{st}), несинусоидальность напряжения – коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения (κ_U) и коэффициентом n -ой гармонической составляющей напряжения ($\kappa_{U(n)}$). Значения этих величин, равно как и провала напряжения, импульса напряжения, временно-го перенапряжения, зависят от уровня напряжений сети, частоты повторения и ряда других условий, определяемых ГОСТом.

Для электрических сетей напряжением 0,38 кВ: $\kappa_2 = U_2 / U_{нл} \times 100 \% = 2 \%$ и 4% ; $\kappa_0 = U_0 / U_{нф} \times 100 \% = 2 \%$ и 4% ; $\delta U = \pm 10 \% U_{н}$; $P_{st} = 1,0 - 1,38$; $\kappa_U = 8 \%$ и 12% ; $\kappa_{U(n)} = 6 - 2 \%$ и $9 - 3 \%$.

Первые значения соответствуют допустимым, вторые – предельно допустимым значениям.

Отклонения напряжения оказывают большое влияние на работу асинхронных двигателей. При изменении напряжения питающей сети изменяется механическая характеристика, представляющая собой зависимость момента электродвигателя от частоты вращения или скольжения (s). На рисунке 2.6 эта характеристика показана при снижении напряжения.

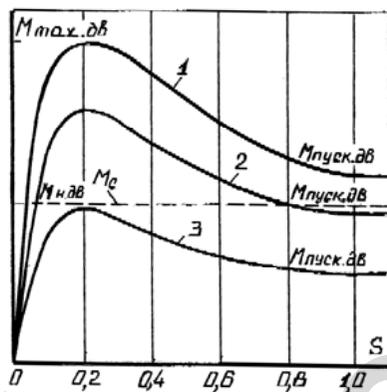


Рисунок 3.6 – Влияние изменений напряжения на механическую характеристику асинхронного электродвигателя:

- 1 – при номинальном напряжении $U_{н}$; 2 – при напряжении, равном $0,9 U_{н}$;
3 – при напряжении, равном $0,7 U_{н}$

Вращающийся момент асинхронного электродвигателя примерно пропорционален квадрату напряжения. Это значит, что при снижении напряжения на $10 \% (0,9 U_{н})$ момент уменьшается на $19 \% (0,81 M_{н})$, а при снижении на 30% уменьшение момента достигает 51% .

На рисунке штрихами показан также момент сопротивления механизма, приводимого во вращение электродвигателем. Хотя в общем случае снижение частоты вращения двигателя зависит не только от снижения напряжения, но и от закона изменения момента сопротивления механизма M_c , на рисунке для упрощения он принят постоянным, не зависящим от частоты вращения двигателя. Очевидно, что если на зажимах электродвигателя, работающего с полной нагрузкой, произойдет значительное снижение напряжения, то момент сопротивления механизма может оказаться больше максимального вращающегося момента электродвигателя $M_{\max \text{ дв}}$. В этом случае произойдет «прокидывание» двигателя. Во избежание сгорания электродвигателя, он должен быть отключен от сети.

Снижение напряжения ухудшает условия пуска двигателя, так как снижается пусковой момент. Это следует учитывать при эксплуатации, поскольку многие сельскохозяйственные машины имеют большие моменты инерции и момент сопротивления при пусках.

Отклонения напряжения оказывают влияние и на другие характеристики асинхронных двигателей. При снижении напряжения и постоянном моменте сопротивления механизма увеличивается потребляемый электродвигателем ток, что приводит к увеличению потерь на нагрев обмоток. При повышении напряжения также увеличивается потребляемый электродвигателем ток из-за насыщения железа за счет его реактивной составляющей. Это, в свою очередь, увеличивает потери на нагрев обмоток и железа. Кроме того, резко снижается коэффициент мощности электродвигателя $\cos \varphi$. Если двигатель длительно работает при пониженном напряжении, то (из-за ускоренного износа изоляции обмоток) срок службы двигателя сокращается.

К изменению напряжения особенно чувствительны осветительные приборы. На рисунке 3.7 показано влияние отклонений напряжения на основные показатели ламп накаливания: срок службы T , световой поток F , световую отдачу H и потребляемую мощность P . Зависимости изображены в относительных единицах: $P^* = P/P_{н}$; $F^* = F/F_{н}$; $H^* = H/H_{н}$; $T^* = T/T_{н}$.

Индексы «н» относятся к номинальным значениям соответствующих величин.

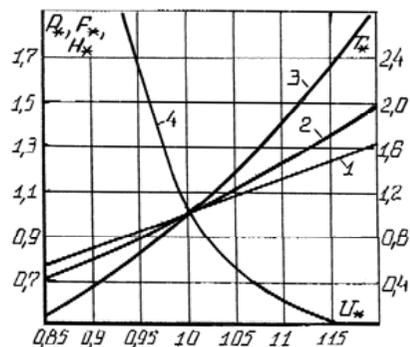


Рисунок 3.7 – Влияние изменений напряжений на характеристики ламп накаливания:
1 – потребляемая мощность; 2 – световая отдача; 3 – световой поток; 4 – срок службы

Из кривых (рисунок 3.7) видно, что при снижении напряжения заметно падает световой поток, что отрицательно сказывается на освещенности рабочих мест, а это, в свою очередь, влияет на производительность труда, утомляемость работников и ухудшение условий безопасности при выполнении технологических операций. Для создания нормальной освещенности при пониженном напряжении требуется увеличение числа ламп накаливания или их мощности, что приводит к перерасходу электроэнергии.

При повышении напряжения сверх номинального резко сокращается срок службы ламп накаливания. При этом имеет место перерасход электрической энергии.

Люминесцентные лампы менее резко реагируют на изменение напряжения, но при его снижении до 93–94 % от номинального могут не загореться. При повышении напряжения на 6–7 % перегревается вспомогательная аппаратура. С увеличением подводимого напряжения возрастает потребление люминесцентными лампами реактивной мощности, что приводит к дополнительным потерям энергии и ухудшению $\cos \varphi$. Следует также отметить, что, в отличие от ламп накаливания, срок службы люминесцентных ламп сокращается не только при повышении напряжения, но и при его снижении. При отклонениях напряжения в пределах ± 10 % срок службы люминесцентных ламп в среднем снижается на 20–25 %.

При ультрафиолетовом облучении животных и птицы, а также при обеззараживании воздуха и продуктов в сельском хозяйстве отклонения напряжения оказывают не только большое влияние на срок службы, но и нарушаются режимы облучения животных и растений.

Электронагревательные установки (электродные и элементные водонагреватели, калориферы, пастеризаторы, кормозапарники, инфракрасные обогреватели и т. п.), применяемые в сельском хозяйстве, также очень чувствительны к отклонениям напряжения. Общим для всех электронагревательных установок является то, что потребляемая ими мощность (активная) зависит от квадрата приложенного напряжения. При снижении напряжения производительность электронагревательных установок снижается пропорционально квадрату напряжения, что требует увеличения времени работы установки и сопровождается увеличением расхода энергии на единицу продукции. При повышении напряжения происходит увеличение потребляемой мощности электронагревательной установкой, резко сокращается срок службы нагревательных элементов.

Причины несимметрии напряжений: неравномерное распределение нагрузки по фазам, создаваемое однофазной нагрузкой; одновременное включение и выключение однофазных потребителей по фазам; перегорание предохранителей в одной из фаз (потеря фазы) и др.

Система обратной последовательности отрицательно влияет на работу асинхронных двигателей, затормаживая вращение ротора.

При 5-процентной несимметрии напряжений допустимая мощность для двигателя снижается по сравнению с номинальной на 10–15 %, а при 10-процентной несимметрии напряжений – на 25–45 %. Система нулевой последовательности напряжений вызывает дополнительную вибрацию электродвигателей, вследствие чего сокращается срок службы их обмоток. Наличие нулевой последовательности приводит к смещению нейтрали и неодинаковым напряжениям по фазам.

Колебания напряжения приводят к мерцанию осветительных ламп, ложным срабатываниям защит и перенапряжению в обмотках, что, в свою очередь, приводит к межвитковым замыканиям.

Отклонения частоты приводят к технологическим и энергетическим ущербам. Первые вызваны изменением потерь в питающих сетях, вторые – изменением скоростей и других показателей работы

оборудования, приводящих к снижению производительности или нарушениям в технологии.

Высшие гармоники образуются при наличии нелинейных потребителей. Вызывают генерацию радиопомех, искажение в работе теле- и радиопередающей техники, компьютеров, автоматических систем.

Провал напряжения, импульс напряжения, временное перенапряжение приводят к нарушениям работы оборудования, самопроизвольным и хаотичным отключениям, пробоям, повреждениям изоляции и другим негативным явлениям.

Вопросы для самоконтроля

1. Приведите классификацию эксплуатационных свойств электрооборудования.
2. Опишите закономерности старения и износа основных элементов электрооборудования.
3. Что такое коррозия металлов, каковы способы защиты от коррозии?
4. Назовите факторы, влияющие на надежность работы электрооборудования.
5. Какое влияние оказывает качество электроэнергии на работу электрооборудования?

Тема 4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

План

Физические основы надежности. Основные понятия и определения, законы распределения случайных величин. Планирование эксперимента и обработка результатов. Показатели надежности электрооборудования.

Надежность оборудования, в т. ч. и электрооборудования, является одной из важнейших характеристик его качества и условием его рациональной эксплуатации.

Уровень надежности оборудования должен быть экономически оправдан и достаточно высоким для качественного обеспечения технологических процессов.

В соответствии с ГОСТ 27.002 для оценки надежности принято 14 показателей, в т. ч. 5 общих и 9 показателей, оцениваемых теоретическими и статистическими формулами, 24 основных термина.

Надежность изделия характеризуется следующими свойствами: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

К общим показателям относят: ресурс, назначенный ресурс, срок службы, срок гарантии и гарантийная наработка.

Неисправность — состояние изделия, при котором оно в данный момент времени не соответствует хотя бы одному из требований, установленных техническими нормативными правовыми актами: стандартами (ГОСТами), техническими условиями (ТУ).

К неисправностям относят снижение производительности и экономичности сверх допустимых пределов, потерю точности станка, отклонение в толщине слоя изоляции, вмятины на корпусе и т. п.

Работоспособность – состояние изделия, при котором оно способно выполнять свои функции с параметрами, установленными требованиями технической документации.

Изделие может быть неисправным, но сохранять работоспособность.

Отказ — это событие, при котором происходит полная или частичная утрата работоспособности изделия. При отказе изделие должно быть остановлено (выключено) из-за возникших технических неисправностей или работы его с недопустимыми отклонениями от заданных рабочих характеристик (параметров). Появление отказа всегда связано с возникновением неисправности.

Однако не всегда возникновение неисправности означает появление отказа. Отказы по происхождению делятся на **конструкционные, технологические (производственные) и эксплуатационные**.

Конструкционные отказы обуславливаются несовершенством конструкции изделия, системы или ее элементов. Эти отказы проявляются, например, в том случае, когда конструктором не учтены случайные перегрузки, величина которых значительно превышает расчетные эксплуатационные нагрузки, неправильно назначен материал деталей, посадки сопряжений не соответствуют условиям их работы и т. д.

Технологические отказы возникают в результате неправильного назначения технологических процессов (например, механической и термообработки) изготовления и восстановления деталей или служат следствием нарушения принятой технологической последовательности изготовления (восстановления) деталей, сборки, регулировки, приработки и испытания узлов, агрегатов и машины в целом. Эти отказы могут также возникать в результате неправильного выбора материалов, нестабильности их свойств.

Эксплуатационные отказы возникают в нормальных условиях, при которых соблюдаются правила эксплуатации и обслуживания техники, и в условиях эксплуатации с отклонениями от правил, которые могут быть созданы, например, неправильными действиями обслуживающего персонала (неправильным включением, использованием при недопустимых перегрузках и т. п.). Эксплуатационные отказы возможны и при несоответствии конструкции машин условиям эксплуатации.

По сложности устранения отказы бывают **простыми и сложными**.

Простые отказы — такие, после возникновения которых работоспособность изделия может быть восстановлена с помощью инструмента и принадлежностей (например, обрыв или ослабление болтов крепления узлов и т. п.).

Сложные отказы будут в том случае, если возникнут предельные износы, трещины в деталях и т. д.

По характеру проявления отказы условно разделяются на **постепенные и внезапные, самоустраняющиеся и устойчивые** и т. д.

Постепенные отказы наступают в результате длительного, постепенного изменения параметров элементов. Такими отказами считаются неисправности узлов и агрегатов, вызванные постепенным изнашиванием их деталей, что приводит к увеличению зазоров в сопряжениях и т. п. Постепенному отказу предшествуют ступи,

повышение зазоров и температуры в сопряжениях, снижение сопротивления изоляции, возрастание контактного сопротивления.

Наряду с механическим износом и электрохимическими процессами разрушения техника, даже если она находится в нерабочем состоянии, подвергается старению. Старение вызывает ряд необратимых физико-химических изменений.

Износ и старение — основные причины постепенного изменения параметров изделий.

Постепенные отказы при достаточном изучении работы можно прогнозировать, при технических обслуживаниях и ремонтах принимать меры к их предупреждению или снижению (например, замена быстроизнашивающихся деталей, регулировка и др.).

Внезапные отказы могут быть в тех случаях, когда полная потеря работоспособности изделия наступает неожиданно, мгновенно.

Причина таких отказов в большинстве случаев заключается во внезапной концентрации нагрузок, действующих внутри и вне изделия. Когда суммарные и индивидуальные нагрузки, действующие на изделие, превышают его прочность, происходит отказ.

В ряде случаев между внезапным и постепенным отказами существует взаимосвязь и взаимообусловленность. Например, постепенное разрушение деталей от усталости может привести к внезапному отказу.

Самоустраняющиеся отказы — это отказы, которые устраняются без вмешательства человека.

Устойчивые отказы устраняются только при вмешательстве обслуживающего персонала.

Отказы как случайные события могут быть **независимыми и зависимыми**, что характеризует взаимосвязь отказов.

Независимые отказы — это такие, которые возникают по любым причинам, кроме действия другого отказа.

Зависимые отказы — это отказы, возникающие в результате отказа других элементов.

Отказы наблюдаются при транспортировании, хранении, работе и испытаниях.

По периоду возникновения отказы могут быть в условиях приработки (приработочные), нормальной эксплуатации и аварийного (форсированного) изнашивания.

По последствиям отказы делятся на **опасные**, представляющие опасность для жизни и здоровья людей, обслуживающих или пользующихся изделием, и **безопасные**.

Отказы бывают очевидные и скрытые и т. д.

Ранее (п. 3.2.3) были представлены определения наработки, ресурса, срока службы.

Наработку нельзя смешивать с календарной продолжительностью (сроком службы), так как два изделия за один и тот же срок службы могут иметь неодинаковую (различную) наработку.

Различают ресурс до первого ремонта, межремонтный, назначенный, средний ресурс и др.

Назначенный ресурс – наработка изделия, при достижении которой эксплуатация его должна быть прекращена, независимо от технического состояния изделия. Этот ресурс назначается в технической документации из соображений безопасности и экономичности.

Полный технический ресурс — наработка от начала до конца эксплуатации для невозстанавливаемого изделия или до ремонта — для восстанавливаемого.

Остаточный технический ресурс — расчетная наработка от рассматриваемого момента до конца эксплуатации или до ремонта.

Суммарный технический ресурс — наработка восстанавливаемого изделия на протяжении его срока службы до списания.

Срок гарантии — это период, в течение которого изготовитель или ремонтное предприятие гарантирует и обеспечивает выполнение установленных требований к изделию, при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации, в т. ч. правил хранения и транспортирования. Срок гарантии устанавливается в технической документации или договорах между изготовителем (исполнителем) и заказчиком.

Гарантийная наработка — наработка изделия, до завершения которой изготовитель (ремонтное предприятие) гарантирует и обеспечивает выполнение определенных требований к изделию, при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации, в т. ч. правил хранения и транспортирования. Гарантийная наработка, как и срок гарантии, устанавливается в технической документации или договорах между заводом-изготовителем или ремонтным предприятием и заказчиком.

Наработка до отказа во многих случаях не может достаточно полно характеризовать надежность, поскольку для многих устройств бывает необходимо, чтобы они безотказно проработали в течение какого-то минимально необходимого времени. Поэтому, сравнивая надежность технических устройств, имеющих разное назначение и разные условия работы, необходимо не только учиты-

вать их наработку до отказа, но и требуемое (заданное) время их безотказной работы. Для этого используют второй численный показатель надежности — **вероятность безотказной работы**, т. е. вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Вероятность безотказной работы имеет смысл лишь в том случае, если указано, в течение какого интервала времени рассматривается безотказность объекта. Выражается этот показатель всегда числом от 0 до 1 (может выражаться в процентах – от 0 до 100 %). Например, если вероятность безотказной работы какого-либо устройства 0,9 в течение 10 000 ч, то это значит, что из 100 таких устройств в течение 10 000 ч 90 проработают безотказно, а 10 – откажут. Устройства, обеспечивающие разную вероятность безотказной работы за один и тот же период времени, имеют разную надежность, причем, чем выше вероятность безотказной работы, тем устройство надежнее. В общем же случае, когда рассматривают устройства с разными значениями вероятностей безотказной работы в течение разных периодов времени (например, $P_1(t_1) > P_2(t_2)$, но $t_1 < t_2$), однозначно ответить, какое устройство надежнее, нельзя. В этом случае необходимо иметь дополнительную информацию о законах распределения вероятностей безотказной работы и их параметрах.

Средняя наработка до отказа и вероятность безотказной работы связаны между собой сложной зависимостью и дополняют друг друга. Анализ, выполненный при помощи законов теории вероятностей, показывает, что для обеспечения высокой вероятности безотказной работы устройства в течение заданного времени необходимо, чтобы его средняя наработка до отказа значительно превышала заданное время его безотказной работы. Например, если средняя наработка до отказа и заданное время безотказной работы изделия равны, то в большинстве случаев вероятность безотказной работы устройства будет составлять лишь около 0,37, т. е. всего 37 изделий из 100 проработают в течение заданного времени безотказно. При превышении средней наработки до отказа заданного времени безотказной работы в 10 раз, вероятность безотказной работы возрастает до 0,9, а в 20 раз — до 0,99. Такие соотношения получаются потому, что наработка до отказа характеризует лишь среднее время безотказной работы изделия, а это значит, что отказы могут возникать раньше этого времени.

Таким образом, если вероятность безотказной работы устройства – величина заданная, то для ее обеспечения необходимо либо

увеличивать наработку до отказа, либо уменьшать требуемое время его безотказной непрерывной работы.

Третий важный показатель надежности — интенсивность отказов (для восстанавливаемых объектов) и параметр потока отказов (для восстанавливаемых объектов).

Интенсивность отказов — это условная плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник. Этот показатель определяет надежность устройства в каждый данный момент времени.

Интенсивность отказов для некоторой совокупности устройств непостоянная величина и изменяется во времени, как показано на рисунке 4.1. В начальный момент времени ($t = 0$) имеет место относительно высокая интенсивность отказов вследствие наличия скрытых производственных дефектов в изделиях. По мере «выжигания» этих дефектов интенсивность отказов падает (участок от 0 до t_1). Этот период носит название *периода приработки*, на нем имеют место приработочные отказы.

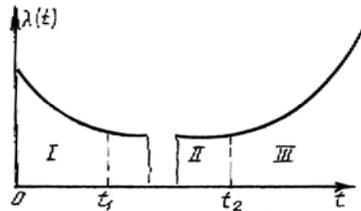


Рисунок 4.1 – Характер изменения во времени интенсивности отказов:

I – участок приработочных отказов; II – участок внезапных отказов;

III – участок внезапных и износовых отказов

Второй отрезок от момента t_1 до t_2 соответствует *периоду нормальной эксплуатации* изделий, на котором имеют место лишь внезапные отказы с примерно постоянной интенсивностью. При длительной эксплуатации изделий, вследствие их старения, кроме внезапных отказов, появляются износовые отказы, что приводит к росту интенсивности отказов. Третий участок после точки t_2 , называют *периодом износа*.

Параметр потока отказов — это отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки. В отличие от интенсивности

отказов, выраженной условным средним числом отказов за единицу времени, параметр потока отказов — безусловное среднее число отказов.

В технической литературе и в нормативно-технической документации средняя наработка обозначается через t_{cp} , вероятность безотказной работы — через $P(t)$, интенсивность отказов — через $\lambda(t)$, а параметр потока отказов — через $\varphi(t)$.

При расчетах надежности элементов и систем часто возникает необходимость определения одних показателей надежности по известным другим. Это можно сделать, если известны законы надежности. Поскольку отказы технических устройств — случайные события, а наработки до отказа и между отказами — случайные величины, то законы надежности описывают такими же вероятностными законами, как и случайные величины.

Наиболее полная, универсальная характеристика случайной величины — **функция распределения**. График функции распределения представляет собой график неубывающей функции. Поскольку наработка не может быть меньше нуля, то функция имеет начало в нуле. На рисунке 4.2 кривая 2 изображает функцию распределения случайной величины t , являющейся наработкой до отказа. Эта функция $F(t)$ оценивает вероятность отказа устройства до момента t . Например, вероятность отказа до момента t_1 равна 0,6. С увеличением продолжительности периода наработки вероятность отказа устройства увеличивается.

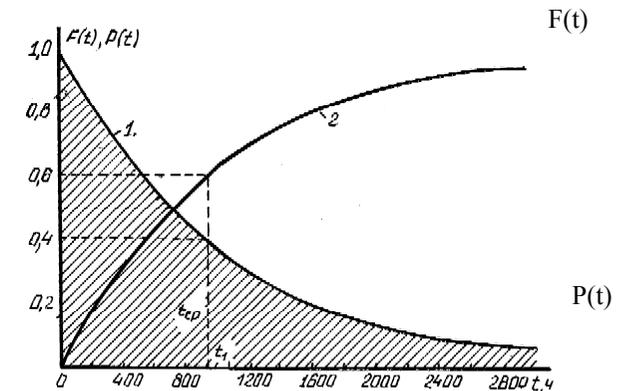


Рисунок 4.2 – Функции распределения надежности (1) и ненадежности (2) устройств

Функцию $F(t)$ иногда называют функцией ненадежности. При помощи ее можно легко определить функцию надежности или функцию вероятности безотказной работы устройства: $P(t) = 1 - F(t)$. Эта функция также изображена на рисунке 4.2, кривая 1. Из рисунка видно, что, если вероятность отказа устройства до момента t_1 равна 0,6, то вероятность безотказной работы этого устройства до этого же момента будет 0,4 ($1 - 0,6 = 0,4$). Для характеристики распределения значений случайной величины в данной точке используют производную от функции распределения: $f(t) = F'(t)$. Эта функция называется **плотностью распределения случайной непрерывной величины** или плотностью вероятности. Вид кривой плотности распределения зависит от типа закона надежности. Важное свойство плотности распределения в том, что площадь, ограниченная кривой распределения с осью абсцисс, равна единице.

Характеристики надежности: средняя наработка до отказа (на отказ), вероятность безотказной работы, плотность распределения наработки до отказа (на отказ) и интенсивность отказов (параметр потока отказов) — основные характеристики безотказности устройств. Их легко выразить одну через другую:

$$f(t) = F'(t); F(t) = \int_0^t f(t) dt; \quad (4.1)$$

$$P(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt; \quad (4.2)$$

$$\lambda(t) = f(t) / P(t); \quad (4.3)$$

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (4.4)$$

Из последней формулы видно, что средняя наработка до отказа равна площади, ограниченной кривой распределения вероятностей безотказной работы и осью абсцисс. Наиболее распространенный в теории надежности — **экспоненциальный (показательный) закон надежности**. Плотность распределения наработки устройства до отказа в этом законе имеет вид ($t \geq 0$):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (4.5)$$

где λ — параметр распределения, $\lambda > 0$.

Вероятность безотказной работы устройства определяют по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (4.6)$$

Среднюю наработку до отказа определяют по формуле:

$$t_{cp} = 1 / \lambda. \quad (4.7)$$

Этот закон определяется всего лишь одним параметром — интенсивностью отказов $\lambda(t) = \lambda$, это значительно упрощает определение закона распределения вероятностей безотказной работы опытным путем, так как требуется наблюдать меньшее число отказов, чем при других, например, двухпараметрических, распределениях. Кроме того, в этом законе легко определяют среднюю наработку до отказа и другие показатели надежности.

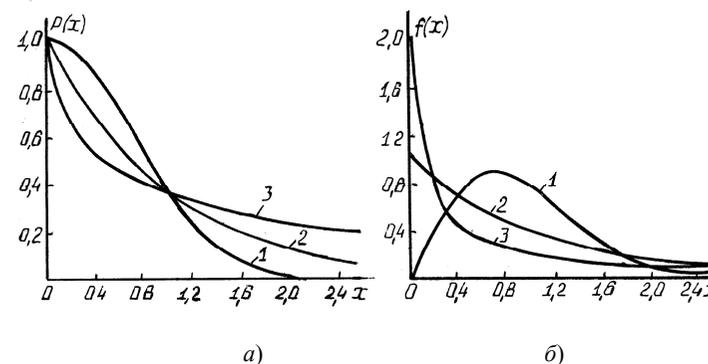


Рисунок 4.3 – Показатели надежности по экспоненциальному закону:
1 – $\lambda = 2$; 2 – $\lambda = 1$; 3 – $\lambda = 0,5$

Характер изменения показателей надежности в экспоненциальном законе полностью определяют параметром λ (рисунок 4.3), который влияет на функцию распределения вероятностей безотказной работы (рисунок 4.3, a) и плотность распределения наработок до отказа (рисунок 4.3, б).

При экспоненциальном законе надежности интенсивности отказов и параметр потока отказов совпадают, однако, отказы без явного выраженного максимума (в частности, в электроустановках) описываются этим законом недостаточно точно.

Другой важный и универсальный закон распределения, используемый в теории надежности, — это **закон Вейбулла – Гнеденко** (рисунок 4.4). Двухпараметрический закон позволяет точнее аппроксимировать функции безотказной работы устройств, в частности, в электроустановках.

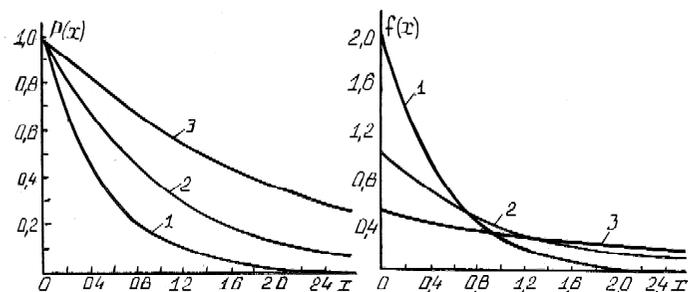


Рисунок 4.4 – Показатели надежности по закону Вейбулла – Гнеденко:
1 – $b = 2$; 2 – $b = 1$; 3 – $b = 0,5$

Плотность распределения наработки объекта до отказа в этом законе имеет вид ($a > 0$; $b > 0$):

$$f(t) = b/a (x)^{b-1} e^{-xb}, \quad (4.8)$$

где a и b — параметры распределения (a — параметр масштаба, b — параметр формы кривой); $x = t/a$.

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле:

$$P(t) = e^{-xb}. \quad (4.9)$$

Интенсивность отказов устройств, имеющих закон распределения наработки до отказа Вейбулла – Гнеденко, определяют по формуле:

$$\lambda(t) = b/a (x)^{b-1} e^{-xb}. \quad (4.10)$$

Параметр распределения « b » в законе Вейбулла – Гнеденко носит название **параметра формы кривой**. В зависимости от его значения, вид законов распределения может быть самым различным, что видно из рисунка 4.4, на котором показаны функция распределения вероятностей безотказной работы a и плотность распределения наработки до отказа b при трех значениях параметра « b » (параметр « a » принят равным единице). При $b = 1$ распределение, по за-

кону Вейбулла – Гнеденко, превращается в экспоненциальное распределение. Влияние этого параметра на характер интенсивности отказов показано на рисунке 4.5.

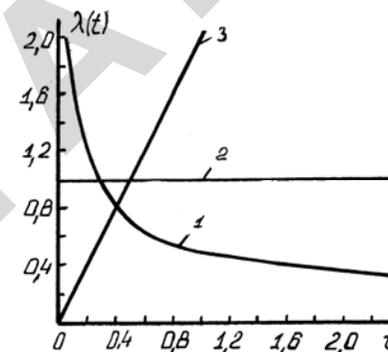


Рисунок 4.5 – Изменение интенсивности отказов при различных значениях параметра « b » в законе Вейбулла – Гнеденко:
1 – $b = 0,5$; 2 – $b = 1$; 3 – $b = 2$

Среднюю наработку устройств до отказа при применении закона Вейбулла – Гнеденко определяют по формуле:

$$t_{cp} = a \Gamma(1 + 1/b), \quad (4.11)$$

где $\Gamma(1 + 1/b)$ — гамма-функция, значения которой вычисляются по таблицам, приводимым в справочниках.

Нормальный закон распределения (гауссовское распределение) описывают двумя параметрами: математическим ожиданием (m_x) и средним квадратическим отклонением (дисперсией). Плотность распределения при нормальном законе имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}. \quad (4.12)$$

Вычислительные операции при нормальном законе распределения значительно упрощаются благодаря наличию специальных таблиц.

Рассматривая кривую (см. рисунок 4.1), можно отметить, что период приработки достаточно точно может быть описан законом распределения Вейбулла – Гнеденко при $b < 1$, рабочий период — экспоненциальным законом распределения, а период износа —

нормальным законом распределения или законом Вейбулла – Гнеденко при $b > 1$.

Кроме показателей, характеризующих отдельные свойства надежности, в практике используют комплексные показатели, оценивающие безотказность и ремонтпригодность изделий.

Коэффициент готовности — вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. Этот коэффициент характеризует готовность объекта к применению по назначению только в отношении его работоспособности, поэтому означает вероятность застать объект в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, где интервал применения его определен. Численное значение коэффициента готовности $k(t)$ существенным образом зависит от момента t и от начального состояния объекта в момент времени $t = 0$. Если в начальный момент объект находился в работоспособном состоянии, то в ближайший момент времени $k(t) \approx 1$. В дальнейшем изменение коэффициента готовности носит затухающий характер.

Коэффициент оперативной готовности — вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени. В отличие от коэффициента готовности, коэффициент оперативной готовности $k(t, t + t_0)$ характеризует надежность объектов, необходимость применения которых возникает не только в произвольный момент времени, но и в течение определенного периода времени после этого момента. До этого момента такие объекты могут находиться как в режиме дежурства, так и в режиме применения для выполнения других функций, причем в обоих режимах возможно возникновение отказов и восстановление работоспособности объекта. При $t_0 \rightarrow 0$ коэффициент оперативной готовности превращается в $k(t)$, т. е.:

$$\lim_{t_0 \rightarrow 0} k(t, t + t_0) = k(t). \quad (4.13)$$

Кроме того,

$$\lim_{t \rightarrow 0} k(t, t + t_0) = P(t_0). \quad (4.14)$$

Коэффициент технического использования — отношение математического ожидания интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии простоя, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом, за тот же период эксплуатации. Этот коэффициент характеризует долю времени нахождения объекта в работоспособном состоянии относительно рассматриваемой продолжительности эксплуатации. Период эксплуатации, для которого определяется коэффициент технического использования k , должен включать все виды технического обслуживания и ремонтов. Коэффициент учитывает затраты времени на плановые и неплановые ремонты:

$$k = T / (T + \tau), \quad (4.15)$$

где T — доля времени, в течение которого объект находился в работоспособном состоянии; τ — доля времени на восстановление работоспособности объекта; $T + \tau$ — средняя длина цикла «работа — восстановление».

Многие виды электрооборудования имеют достаточно высокие показатели конструктивной надежности. В соответствии с ГОСТ 19348 срок службы изделий при среднегодовой наработке не более 1500 ч должен быть не менее 8 лет. Расчетное значение вероятности безотказной работы изделий должно быть не ниже 0,9, при доверительной вероятности — 0,8.

Однако конструктивная надежность электрооборудования не гарантирует столь же высокой ее эксплуатационной надежности. Например, безотказная работа электродвигателей серии 4А не превышает 4,5 года, а после капитального ремонта — 1,5–2 года, электрокалориферов — 10 месяцев, электродных котлов — 11,5 месяцев, светильников — 4,5–5 лет, электропроводок — 3–7 лет.

1. Планирование эксперимента и обработка результатов по определению показателей надежности изделий проводится в соответствии с ГОСТ 17.510 или (Бабицкий В. В. Планирование экспериментов : учебно-методическое пособие по проведению экспериментов и обработки полученных результатов. Минск: БНТУ, 2003).

Вопросы для самоконтроля

1. Какими свойствами характеризуется надежность изделий?
2. Какие показатели надежности изделий вы знаете?
3. Назовите основные законы надежности.
4. Что такое конструктивная и эксплуатационная надежность, каково их значение для отдельных видов электрооборудования?

Тема 5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

План

Формы организации работ при диагностировании. Планирование работ при диагностировании. Определение трудоемкости работ. Определение численности персонала. Составление графиков ТО и Д.

Работы по диагностированию включают в себя определение технического состояния электрооборудования и прогнозирование времени безотказной работы узлов, деталей и изделия в целом, т. е. его ресурса. Они делятся на плановые (ДП) и внеплановые (ДВ). ДП выполняются по заранее составленному графику. ДВ проводятся при наличии признаков какой-либо неисправности или отклонения от нормальной работы электрооборудования.

Диагностирование электрических машин и аппаратов выполняется по годовому графику формы 5.1.

Организация диагностирования зависит от объема работ и местных условий.

Если количество электрооборудования в хозяйстве или в зоне обслуживания большое, то диагностирование должно проводить отдельное специализированное диагностическое звено или бригада.

Если количество электрооборудования незначительно – целесообразнее поручить диагностирование ремонтно-диагностическому звену или бригаде.

В любом случае звено или бригада должны, в соответствии с правилами техники безопасности, состоять, как минимум, из двух человек, при этом руководитель должен иметь квалификационную группу не ниже четвертой, все остальные – не ниже третьей.

Результаты диагностирования заносятся в журнал по рекомендуемой форме 5.2.

При диагностировании электрооборудования специализированным звеном или бригадой рекомендуется по данным измерений заполнить бланк-распоряжение на проведение ремонтных работ (форма 5.3), который передается ремонтной бригаде.

Форма 5.3 заполняется только на электрооборудование, подлежащее текущему или капитальному ремонту, или, если в нем следует заменить быстросъемную деталь.

В том случае, если электрооборудование подлежит капитальному ремонту, в графе 6 формы 5.3 следует указать причину.

СОГЛАСОВАНО
 Главный инженер объекта

УТВЕРЖДАЮ
 Главный энергетик
 (главный инженер) _____
 «__» _____ 200 г.

«__» _____ 200 г.

ГРАФИК ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА 200_г

(наименование предприятия, хозяйства, участка обслуживания объекта)

59

Наименование, тип электрооборудования и его место установки	Количество	Число условных единиц	Среда	Число часов работы в сутки	Годовое количество			Месяцы												Годовая трудоемкость, чел-ч	
					Текущих ремонтов	Технических обслуживания	Диагностирования	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	При техническом обслуживании и диагностировании	При текущем ремонте

Инженер (техник) – электрик _____

Примечание к форме 5.1.

1. Запланированный срок технического обслуживания на графике отмечают прямоугольником, а диагностирования – прямоугольником, с заштрихованной частью поля. По окончании технического обслуживания или диагностирования в прямоугольнике проставляют дату проведения.

2. Среду помещения можно указать цифрами: 1 – сухое; 2 – влажное; 3 – сырое; 4 – особо сырое; 5 – особо сырое с механически агрессивными газами; 6 – на открытом воздухе, под навесом; 7 – пыльное.

Журнал диагностирования электрооборудования

(наименование предприятия, хозяйства, участка обслуживания объекта)

Тип _____
 Мощность, кВт _____
 Номинальное напряжение, В _____
 Номинальный ток, А _____
 Частота вращения, мин⁻¹ _____

Инвентарный номер _____
 Заводской номер _____
 Место установки _____
 Дата установки _____

09

Номер п/п	Дата диагностирования	Наработка, ч		Результаты внешнего осмотра	Данные измерения параметров						Заключение о техническом состоянии	Перечень выполненных работ при ремонте	Фактическая трудоемкость ремонтных работ	Подпись бригадира
		От последнего диагностирования	После установки электрооборудования		6	7	8	9	10	11				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Распоряжение на проведение ремонтных работ № _____ от _____ 200 г.

(наименование предприятия, хозяйства, участка обслуживания объекта)

Номер п/п	Тип обору- дования	Место установки	Инвен- тарный номер	Заво- дской номер	Вид ремонта или работ	Указания по выполнению ремонта		Отметка о выпол- нении ремон- тных работ
						Срок выпол- нения, до (число, месяц)	Объем работ (перечень опе- раций, которые необходимо выполнить)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

5.1. Планирование ремонтных работ, составление годового графика

При планировании работ по техническому обслуживанию, диагностированию, текущему и капитальному ремонту электрооборудования СПК или других сельскохозяйственных предприятий определяют объемы видов ремонтных работ, годовую трудоемкость, численность обслуживающего персонала (электромонтеров и инженерно-технических работников), количество необходимых материалов и запасных частей, а также стоимость работ.

Основным документом, по которому организуется эксплуатация электротехнического оборудования, является годовая план технического обслуживания, диагностирования и ремонта электрооборудования, который составляется в соответствии с действующей Системой планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемой в сельском хозяйстве.

Годовой объем видов ремонтных работ по эксплуатации электрооборудования хозяйства определяется, исходя из периодичности их выполнения.

Для составления годового графика технического обслуживания и диагностирования электрооборудования по форме 1 все электрическое оборудование сельскохозяйственного предприятия делится на три группы в связи с тем, что методика диагностирования (как указывалось раньше) разработана не для всех видов оборудования.

1-я группа — электродвигатели, магнитные пускатели, автоматы, установленные в животноводческих помещениях, ремонтных мастерских, кузницах, помещениях пилорам и др.;

2-я группа — электродвигатели, магнитные пускатели, автоматы, установленные в помещениях, которые не охватывает 1-я группа, а также погружные электродвигатели, генераторы передвижных электростанций, сварочная аппаратура, электрокалориферы, электронагреватели, котлы электродные;

3-я группа — электрооборудование, которого нет в рекомендациях по организации ремонта и технического обслуживания на основе диагностирования.

1-я группа электрооборудования.

Периодичность диагностирования всех типов электродвигателей 1-й группы электрооборудования находится в зависимости:

от количества отказов, приходящихся на один двигатель, % (под электродвигателем в данном случае следует понимать электропривод с электродвигателем);

от числа рабочих, которые работают в данном производственном помещении, а также содержащихся животных или птицы, в расчете на один установленный электродвигатель.

Количество отказов $n_{отк}$ на один электродвигатель подсчитывается по формуле:

$$n_{отк} = \frac{n_0}{n_{Э.д.}} \times 100, \quad (5.1)$$

где n_0 — число отказов электродвигателей, установленных в данном производственном помещении (мастерской и пр.), шт.; $n_{Э.д.}$ — общее количество установленных электродвигателей, шт.

Число рабочих, а также содержащихся животных или птицы n , в расчете на один установленный электродвигатель, определяется по выражению:

$$n = \frac{n'}{n_{Э.д.}}, \quad (5.2)$$

где n' — число рабочих, а также содержащихся животных или птицы в данном производственном помещении, шт.

5.1.1. Расчет годовой трудоемкости

Годовые затраты труда на обслуживание, диагностирование и ремонт электрического оборудования подсчитываются по группам этого оборудования.

Для 1-й группы расчет выполняется, исходя из годовой программы работ ТО и диагностирования (конкретного хозяйства), в соответствии с нижеприведенными трудоемкостями одного технического обслуживания электродвигателя, равного 0,25 чел-ч; магнитного пускателя — 0,13 чел-ч; автомата — 0,125 чел-ч; диагностирования электродвигателя, равного 0,725 чел-ч; магнитного пускателя — 0,39 чел-ч; автомата — 0,35 чел-ч; а также исходя из средней трудоемкости текущего ремонта электрооборудования на год эксплуатации.

Суммарная плановая годовая трудоемкость подсчитывается по формуле 5.3:

$$T_{1гр} = n_1(K_{ТО1} \times t_{1ТО} + K_{Д1} \times t_{1Д} + t_{ТР1}) + n_2(K_{ТО2} \times t_{2ТО} + \dots + K_{Д2} \times t_{2Д} + t_{ТР2}) + \dots + n_n(K_{ТОn} \times t_{2ТО} + \dots + K_{Дn} \times t_{nД} + t_{ТРn}), \quad (5.3)$$

где n_1, n_2, \dots, n_n — количество единиц электрооборудования в подгруппе; $K_{ТО2}, K_{ТОn}$ — количество ТО единицы подгруппы электрооборудования за год (по графику); $K_{Д1}, K_{Д2}, \dots, K_{Дn}$ — количество Д единицы подгруппы электрооборудования за год (по графику); $t_{1ТО}, t_{2ТО}, \dots, t_{ТОn}$ — трудоемкость одного ТО единицы подгруппы оборудования, чел-ч; $t_{1Д}, t_{2Д}, \dots, t_{Дn}$ — трудоемкость одного Д единицы подгруппы оборудования, чел-ч; $t_{ТР1}, t_{ТР2}, \dots, t_{ТРn}$ — годовая трудоемкость одного ТР единиц подгруппы оборудования, чел-ч.

Для 2-й группы электрооборудования расчет выполняется, исходя из средней трудоемкости ТО, Д, ТР на год эксплуатации одного электродвигателя, электронагревателя и пр.

Суммарная плановая трудоемкость определяется из выражения 5.4:

$$T_{2гр} = n_1(t_{ТО1} + t_{Д1} + t_{ТР1}) + \dots + n_2(t_{ТО2} + t_{Д2} + t_{ТР2}) + \dots + n_n(t_{ТОn} + t_{Дn} + t_{ТРn}), \quad (5.4)$$

где $t_{ТО1}, t_{ТО2}, \dots, t_{ТОn}$ — годовая трудоемкость ТО единиц подгруппы электрооборудования, чел-ч; $t_{Д1}, t_{Д2}, t_{Дn}$ — годовая трудоемкость Д единицы подгруппы оборудования, чел-ч.

Для 3-й группы электрооборудования суммарная плановая, годовая трудоемкость электрооборудования рассчитывается по формуле:

$$T_{3гр} = n_1(K_{ТО1} \times t_{ТО1} + K_{ТР1} \cdot t_{ТР1}) + n_2(K_{Т2} \times t_{Т2} + K_{ТР2} \times t_{ТР2}) + \dots + n_n(K_{Тn} \times t_{Тn} + K_{ТРn} \times t_{ТРn}), \quad (5.5)$$

где $K_{ТР1}, K_{ТР2}, K_{ТРn}$ — количество ТР единицы подгруппы электрооборудования за год;

$t_{ТР1}, t_{ТР2}, t_{ТРn}$ — трудоемкость одного ТР единицы подгруппы электрооборудования, чел-ч

Суммарная годовая плановая трудоемкость ТО, Д и ТР всех трех групп электрооборудования вычисляется по формуле 5.6:

$$T = T_{1гр} + T_{2гр} + T_{3гр}. \quad (5.6)$$

В условиях конкретного хозяйства расчетные трудоемкости корректируют на основании сравнения расчетных и фактических данных, полученных за годы, предшествующие планируемому. Корректировка заключается в увеличении (уменьшении) объемов работ на процент расхождения расчетных и фактических данных.

5.1.2. Определение численности обслуживающего электротехнического персонала

Для выполнения годового планируемого объема работ по техническому обслуживанию, диагностированию и текущему ремонту число электромонтеров в настоящее время может определяться двумя методами, исходя из суммарного числа условных единиц электрооборудования хозяйства ($\sum y.e.$), планируемого годового объема трудоемкости ТО, Д и ТР электрооборудования хозяйства (Т), чел-ч.

По первому методу количество электромонтеров (N) рассчитывают по средним трудозатратам на обслуживание и ремонт электрооборудования, приходящимся на одного электромонтера, которые при существующей оплате труда принимаются в 100 условных единицах электрооборудования:

$$N = \frac{\sum y.e.}{100}. \quad (5.7)$$

По второму методу численность электромонтеров равна:

$$N = \frac{1.1.T}{(\Phi - \Phi_2)K_{вн}}, \quad (5.8)$$

где 1,1 — коэффициент неучтенных работ; Φ — действительный годовой фонд рабочего времени, ч; $\Phi_{пер}$ — время, затрачиваемое электромонтером на переезды, ч; $K_{вн}$ — коэффициент выполнения нормы, $K_{вн} = 1,1-1,15$. Действительный годовой фонд рабочего времени электромонтера подсчитывается по формуле:

$$\Phi = (d_K - d_B - d_{П} - d_O) z \eta, \quad (5.9)$$

где $d_K, d_B, d_{П}, d_O$ — количество, соответственно, календарных, выходных, праздничных и отпускных дней в году; z — продолжительность рабочей смены, ч (при одном выходном дне в неделю — 6,834, при двух — 8,24); η — коэффициент выхода электромонтера на работу (0,9–0,96).

Численность электромонтеров оперативной службы:

$$N_{оп} = \frac{T_{оп}}{\Phi \times K_{вн}}. \quad (5.10)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Какие формы организации и планирования работ при диагностировании вы знаете?
2. Что такое у. е. э.?
3. Как определяется трудоемкость работ?
4. Как производится составление графиков ТО и Д?
5. Как определяется численность обслуживающего электротехнического персонала?

В том случае, если электроремонтной бригадой оперативные работы совмещаются с плановыми, при определении требуемого числа рабочих для проведения плановых профилактических работ из годовой трудоемкости плановых работ вычитается трудоемкость годового оперативного обслуживания ($T_{\text{опр}}$).

Численность вспомогательных рабочих определяют в процентах от численности электромонтеров по действующим нормам.

5.2. Составление годового графика технического обслуживания, диагностирования и ремонта электрооборудования

Основным документом, по которому организуется эксплуатация электротехнического оборудования, является годовой план технического обслуживания, диагностирования и ремонта электрооборудования, который составляется в соответствии с действующей системой планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве (ППРЭСх).

В настоящее время эта система внедряется в энергетику АПК с применением диагностирования, что дает возможность сократить объем ремонтных работ, повысить надежность, увеличить срок службы электрооборудования и повысить экономичность его эксплуатации.

Для разработки графика необходимо провести паспортизацию оборудования, проанализировать его состояние, определить периодичность, годовое число и трудоемкость диагностирования (Д), технического обслуживания (ТО), текущего ремонта (ТР).

При определении годового объема работ используется условная единица эксплуатации электрооборудования.

Условной единицей эксплуатации электрооборудования (у.е.э.) называется отношение усредненных годовых трудоемкостей технического обслуживания и ремонта различных видов электрооборудования к годовой трудоемкости технического обслуживания и ремонта базовой электроустановки, принятой за эталон. В качестве эталона принимаются трудозатраты на ремонт и обслуживание электродвигателя мощностью 10 кВт с комплексом пускозащитной аппаратуры. Перевод электротехнического оборудования в у.е.э. выполняется по нормам, приведенным в таблицах системы ППРЭСх.

Тема 6. ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ (ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ)

План

Цель и задачи профилактических испытаний. Нормы профилактических испытаний. Испытательные лаборатории и их оснащение.

Электрооборудование состоит из неравнопрочных элементов, имеющих различный срок долговечности. Выход из строя любого элемента приводит к отказу всего электрооборудования и наносит ущерб производству. Особенно опасны непредвиденные отказы. С целью исключения таких отказов, своевременного выявления и замены элементов с ухудшенными свойствами проводят профилактическое диагностирование, которое в энергетике называют профилактическим испытанием, или контрольным измерением.

В соответствии с ПТЭ и ПТБ и методическими указаниями по организации эксплуатации энергетического оборудования в сельскохозяйственных предприятиях профилактические испытания проводят как самостоятельный вид работ в дополнение к испытаниям, входящим в состав технического обслуживания и ремонтов.

Объем и нормы испытаний определены на основании рекомендаций заводов-изготовителей и опыта эксплуатации электрооборудования. Они являются составной частью ПТЭ и ПТБ и обязательны для выполнения энергетическими службами агропромышленных предприятий.

При профилактических испытаниях основное внимание уделяют изоляции, поскольку она – самый слабый элемент электрооборудования и вызывает наибольшее число отказов.

Испытания действующих электроустановок всех потребителей, независимо от их ведомственной принадлежности, номинальным напряжением до 220 кВ должны производиться в объеме и с периодичностью, указанными в приложении Э1 ПТЭ. При испытании электроустановок номинальным напряжением свыше 220 кВ следует руководствоваться действующими Нормами испытания электрооборудования Минэнерго и инструкциями заводов-изготовителей.

Конкретные сроки испытаний электроустановок определяются лицом, ответственным за электрохозяйство, на основе норм и ведомственной или местной системы планово-предупредительного ремонта

(ППР), в соответствии с типовыми и заводскими инструкциями, в зависимости от местных условий и состояния установок.

Для отдельных видов электроустановок, не включенных в нормы, конкретные сроки и нормы испытаний должны устанавливаться лицом, ответственным за электрохозяйство, на основе инструкций заводов-изготовителей и ведомственной или местной системы ППР.

Электрооборудование производства иностранных фирм подлежит испытанию по нормам ПТЭ после истечения гарантийного срока эксплуатации. Изоляция электрооборудования производства иностранных фирм, которая согласно технической документации, испытана напряжением ниже предусмотренного нормами, должна испытываться напряжением, устанавливаемым в каждом отдельном случае, с учетом опыта эксплуатации, но не ниже 90 % испытательного напряжения, принятого фирмой, если другие указания поставщика отсутствуют.

Заключение о пригодности электрооборудования к эксплуатации дается не только на основании сравнения результатов испытания с Нормами, но и по совокупности результатов всех проведенных испытаний и осмотров.

Значения параметров, полученные при испытаниях, должны быть сопоставлены с исходными параметрами, результатами измерений параметров однотипного электрооборудования или электрооборудования других фирм, а также с результатами предыдущих испытаний.

Под исходными значениями измеряемых параметров следует понимать их значения, указанные в паспортах и протоколах заводских испытаний. При отсутствии таких значений в качестве исходных могут быть приняты значения параметров, полученные при приемосдаточных испытаниях или испытаниях по окончании восстановительного ремонта. Если отсутствуют и эти значения, разрешается за исходные принимать значения, полученные при более раннем испытании.

Электрооборудование и изоляторы на номинальное напряжение, превышающее номинальное напряжение электроустановки, в которой они эксплуатируются, могут испытываться повышенным напряжением по нормам, установленным для класса изоляции данной установки.

При отсутствии необходимой испытательной аппаратуры переменного тока электрооборудование распределительных устройств напряжением до 20 кВ допускается испытывать повышенным выпрямленным напряжением, которое должно быть равно полутора-

кратному значению испытательного напряжения промышленной частоты.

В нормах (приложение Э1 ПТЭ) приняты следующие условные обозначения видов испытаний:

K – испытания при капитальном ремонте электрооборудования;

T – испытания при текущем ремонте электрооборудования;

M – межремонтные испытания, т. е. профилактические испытания, не связанные с выводом электрооборудования в ремонт.

Оценка состояния изоляции резервного электрооборудования, а также частей и деталей электрооборудования, находящихся в аварийном резерве, производится по нормам, принятым заводом-изготовителем для выпускаемых изделий.

Испытания электрооборудования должны проводиться по программам (методикам), изложенным в стандартах и технических условиях на испытания и электрические измерения, с соблюдением требований правил техники безопасности.

Результаты испытаний должны оформляться протоколами, которые хранятся вместе с паспортами электрооборудования.

Электрические испытания изоляции электрооборудования и отбор пробы трансформаторного масла из баков аппаратов на химический анализ необходимо, как правило, проводить при температуре изоляции не ниже +5 °С, кроме специально оговоренных в нормах случаев, когда требуется более высокая температура.

Перед проведением испытаний электрооборудования (за исключением вращающихся машин и специально оговоренных в нормах случаев) наружная поверхность его изоляции должна быть очищена от пыли и грязи, кроме тех случаев, когда испытания проводятся методом, не требующим отключения электрооборудования.

При испытании изоляции обмоток вращающихся машин, трансформаторов и реакторов повышенным напряжением промышленной частоты должна быть испытана поочередно каждая электрически независимая цепь или параллельная ветвь (в последнем случае – при наличии полной изоляции между ветвями); при этом один полюс испытательного устройства соединяется с выводом испытываемой обмотки, а другой – с заземленным корпусом испытываемого электрооборудования, с которым на все время испытаний данной обмотки электрически соединяются все другие обмотки.

Обмотки, соединенные между собой наглухо, и не имеющие вывода концов каждой фазы или ветви, должны испытываться относительно корпуса без их разъединения.

При испытаниях электрооборудования повышенным напряжением промышленной частоты к испытательной установке рекомендуется подводить линейное напряжение сети.

Скорость подъема напряжения до 1/3 испытательного значения может быть произвольной. Далее испытательное напряжение должно подниматься плавно, с такой скоростью, чтобы был возможен визуальный отсчет по измерительным приборам, и по достижении установленного значения поддерживается неизменным в течение всего времени испытания. После требуемой выдержки напряжение плавно снижается до 1/3 испытательного и отключается.

Под продолжительностью испытания подразумевается время приложения полного испытательного напряжения, установленного нормами.

До и после испытания изоляции повышенным напряжением промышленной частоты или выпрямленным напряжением рекомендуется измерять сопротивление изоляции с помощью мегаомметра. За сопротивление изоляции принимается одномоментное значение измеренного сопротивления R_{60} .

Результаты испытания повышенным напряжением считаются удовлетворительными, если при приложении полного испытательного напряжения не наблюдалось скользящих разрядов, толчков тока утечки или нарастания установившегося значения, перебоев или перекрытий, и если сопротивление изоляции, измеренное мегаомметром, после испытания осталось прежним.

При измерении параметров изоляции электрооборудования должны учитываться случайные и систематические погрешности, обусловленные погрешностями измерительных приборов и аппаратов, дополнительными емкостями и индуктивными связями между элементами измерительной схемы, воздействием температуры, влиянием внешних электромагнитных и электростатических полей на измерительное устройство, погрешностями метода и т. п.

При измерении тока утечки (тока проводимости), в случае необходимости учитывается пульсация выпрямленного напряжения.

Нормы по тангенсу угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ изоляции электрооборудования и по току проводимости разрядников приведены для измерений, выполненных при температуре оборудования +20 °С. Тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции измеряется при напряжении 10 кВ у электрооборудования и вводов на номинальное

напряжение 10 кВ и выше и при напряжении, равном номинальному, у остального электрооборудования.

Тангенс угла диэлектрических потерь изоляции при сушке трансформатора без масла следует измерять при напряжении не выше 220 кВ. При измерении тангенса угла диэлектрических потерь изоляции электрооборудования следует одновременно определять и ее емкость.

Испытание напряжением 1 кВ промышленной частоты может быть заменено измерением одноминутного значения сопротивления изоляции мегаомметром на напряжение 2500 В. Эта замена не допускается при испытаниях ответственных вращающихся машин и цепей релейной защиты, электроавтоматики, а также в случаях, оговоренных в соответствующих разделах норм.

При сопоставлении результатов измерения следует учитывать температуру, при которой производились измерения, и вносить поправки в соответствии со специальными указаниями.

При испытании внешней изоляции электрооборудования повышенным напряжением промышленной частоты, проводимом при факторах внешней среды, отличающихся от нормальных (температура воздуха ± 20 °С, абсолютная влажность – 11 г/м³, атмосферное давление – 101,3 кПа, если в стандартах на электрооборудование не приняты другие пределы), значение испытательного напряжения должно определяться с учетом поправочного коэффициента на условия испытания, регламентируемого соответствующими стандартами.

При проведении нескольких видов испытаний изоляции электрооборудования испытанию повышенным напряжением должны предшествовать тщательный осмотр и оценка ее состояния другими методами. Электрооборудование, забракованное при внешнем осмотре, независимо от результатов испытания должно быть заменено или отремонтировано.

Опыт холостого хода силовых трансформаторов производится в начале всех испытаний и измерений до подачи на обмотки трансформатора постоянного тока, т. е. до измерения сопротивления изоляции и сопротивления обмоток постоянному току, прогрева трансформатора постоянным током и т. п.

Температура изоляции электрооборудования определяется следующим образом:

- за температуру изоляции силового трансформатора, не подвергавшегося нагреву, принимается температура верхних слоев масла, измеренная термометром;

- за температуру изоляции силового трансформатора, подвергавшегося нагреву или воздействию солнечной радиации, принимается средняя температура фазы В обмотки высшего напряжения, определяемая по ее сопротивлению постоянному току;

- за температуру изоляции электрических машин, находящихся в практически холодном состоянии, принимается температура окружающей среды;

- за температуру изоляции электрических машин, подвергавшихся нагреву, принимается средняя температура обмотки, определяемая по ее сопротивлению постоянному току;

- за температуру изоляции ввода, установленного на масляном выключателе или силовом трансформаторе, не подвергавшихся нагреву, принимается температура окружающей среды или температура масла в баке выключателя или силового трансформатора.

Сроки и нормы профилактических измерений и испытаний приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Сроки и нормы профилактических испытаний сопротивления изоляции электрооборудования

Тип электропроводки и электрооборудования	Указания по измерениям (напряжение мегомметра, периодичность и др. указания)	Норма сопротивления МОм
1	2	3
Силовые и осветительные проводки; распределительные устройства, щиты; электрические аппараты 0,38–0,66 кВ	1000 В. В сухих помещениях не реже 1 раза в 6 лет. В особо сырых и жарких помещениях, в наружных установках, а также в помещениях с химически активной средой – не реже 1 раза в год. Измеряют между любым проводом и землей, а также между двумя любыми проводами при снятых плавких вставках и отключенных электроприемниках	0,5

Окончание таблицы 6.1

1	2	3
Силовые кабельные линии до 1 кВ	2500 В. В стационарных установках не реже 1 раза в 5 лет, а сезонных – перед наступлением сезона	0,5
Трансформаторы до 35 кВ	2500 В. Периодичность – по местным инструкциям	Не нормируется, но не ниже 70% от предыдущего измерения
Электродвигатели до 0,66 кВ (обмотка статора)	1000 В. Периодичность – по системе ППРЭсх, но для двигателей ответственных механизмов и работающих в тяжелых условиях – не реже 1 раза в 2 года	1,0 – в холодном состоянии; 0,5 – при 60°С
Ручной электроинструмент и переносные светильники	500 В. Периодичность – по системе ППРЭсх, но не реже 1 раза в 6 лет	0,5

Кроме измерения сопротивления изоляции, в состав профилактических испытаний для некоторых видов электрооборудования в те же сроки входят и другие операции.

Для силовых трансформаторов определяют коэффициент абсорбции R_{60}/R_{15} , значение которого не нормируется, но оно не должно снижаться более чем на 30 % по сравнению с заводским значением или предыдущим измерением. Измеряют сопротивление обмоток постоянному току – оно не должно отличаться более чем на ± 2 % от значений заводских или эксплуатационных измерений. Проверяют состояние индикаторного силикагеля воздушосушительных фильтров. Он должен иметь равномерную голубую окраску зерен.

Для асинхронных двигателей проверяют срабатывание максимальной защиты путем измерения полного сопротивления петли «фаза – нуль», с последующим определением тока однофазного короткого замыкания.

В электродных водонагревателях (котлах) измеряют удельное сопротивление воды и добиваются, чтобы оно было в пределах 10–50 Ом·м при 20 °С. Проверяют действие защитной аппаратуры котла.

Для воздушных линий проверяют габаритные размеры, изоляторы, места соединения проводов, степень загнивания деталей деревянных опор и срабатывание защиты линий. Объем и сроки испытаний регламентируют местные инструкции.

Профилактические измерения сопротивления заземляющих устройств проводят в сроки, установленные ППРЭсх, но не реже 1 раза в 3 года. Для получения надежных результатов измерения рекомендуют проводить в периоды наибольшего удельного сопротивления грунта. Сопротивление повторных заземлителей должно быть не более 30 Ом·м при удельном сопротивлении грунта $\rho \leq 100$ Ом·м (не более 0,3р при $\rho > 100$ Ом·м), а нейтралей трансформаторов и генераторов – не более 4 Ом, при $\rho \leq 100$ Ом·м (не более 0,04р при $\rho > 100$ Ом·м). Заземлители электрических котельных должны иметь сопротивление не более 4 Ом.

Устройства выравнивания электрических потенциалов ежегодно проверяют на напряжение прикосновения и шага или на целостность проводников, доступных для осмотра.

Стандартизация и сертификация при испытаниях. Аккредитация испытательных лабораторий

Для проведения единой технической политики в области измерений и испытаний электроустановок при их сдаче-приемке и в процессе эксплуатации введена система аккредитации лабораторий и лицензирование соответствующих видов деятельности.

Аккредитованная лаборатория – поверочная или испытательная лаборатория, прошедшая аккредитацию.

Аккредитация – официальное признание того, что поверочная или испытательная лаборатория правомочна осуществлять проверку средств измерений, конкретные измерения и испытания.

Аттестация лаборатории – проверка поверочной или испытательной лаборатории с целью установления ее соответствия критериям аккредитации.

Критерии аккредитации – совокупность требований, используемых органом по аккредитации, которым должна удовлетворять лаборатория для того, чтобы быть аккредитованной.

Лаборатория должна иметь:

— юридический статус или являться самостоятельным структурным подразделением организации, имеющей юридический статус;

— организационную схему, определяющую обязанности и структуру лаборатории, позволяющую ей выполнять свои технические функции;

— постоянный штат сотрудников, включая руководителя, полномочия и возможности которого должны обеспечивать выполнение возлагаемых обязанностей;

— специалистов, имеющих соответствующее образование, профессиональную подготовку и опыт, необходимые для выполнения возложенных на них обязанностей;

— руководителя, ответственного за выполнение всех технических операций в лаборатории;

— руководителя, ответственного за систему качества и ее применение. Функции технического руководителя и руководителя в области качества могут быть возложены на отдельных сотрудников (сотрудника) лаборатории;

— документированную систему внутреннего контроля за достоверностью и объективностью результатов поверки и испытаний, включая участие в межлабораторных сличениях.

В лаборатории должна действовать разработанная и документированная система качества, соответствующая области деятельности, характеру и объему выполняемых работ. Документация системы качества оформляется в виде руководства по качеству, которое систематически уточняется (актуализируется). Актуализация руководства по качеству возлагается на руководителя (сотрудника), ответственного за систему качества и ее применение.

Руководство по качеству и связанные с ним другие документы по качеству должны устанавливать:

— политику в области качества, осуществляемую руководством лаборатории;

— организационную структуру лаборатории, ее место в организации, в состав которой она входит, включая сведения о лаборатории (адрес, принадлежность к более крупной организации, ведомственную принадлежность, телефон, телефакс и т. д.);

— процедуры учета, контроля и использования документации;

— описание деятельности руководящего персонала и сотрудников, распределение их функциональных обязанностей согласно

должностным инструкциям, в которых устанавливается круг возлагаемых на них обязанностей и степень ответственности, в т. ч. в отсутствие штатных руководителей (передача полномочий);

— процедуру утверждения образцов подписей или клейм работников лаборатории, порядок подписания и утверждения результатов измерений, закрепления клейм за поверителями, порядок их получения, контроль за их применением, учет и хранение;

— процедуры обеспечения передачи размера единиц физических величин измерительному оборудованию путем сличений с эталонами; организации и проведения поверки средств измерений и метрологической аттестации средств измерений и стандартных образцов; технического переоснащения лабораторий;

— область деятельности лаборатории по поверке и испытаниям, виды оказываемых услуг, специализацию в области поверки и испытаний;

— перечень используемых методик испытаний, измерений и поверки; опись всех стандартов, инструкций, методик поверки и испытаний, методик выполнения измерений, в т. ч. изложенных в эксплуатационной документации;

— процедуры работы с объектами испытаний и поверки: порядок поступления, регистрации, прохождения, узаконения и выдачи заказчику;

— перечень применяемого измерительного оборудования, включая используемое вне лаборатории, в т. ч. и не принадлежащее ей, применяемое при проведении поверки, испытаний и измерений;

— процедуры контроля деятельности, включая межлабораторные сличения, программы проверки качества испытаний, использования стандартных образцов и схем внутреннего контроля;

— процедуры рассмотрения претензий (рекламаций);

— правила обеспечения конфиденциальности и охраны прав собственника;

— процедуры проверки и ознакомления с деятельностью лаборатории;

— порядок работы с подрядными организациями.

Деятельность лаборатории через соответствующие интервалы времени должна проверяться органом по аккредитации поверочных и испытательных лабораторий или другими организациями, уполномоченными им, в соответствии с СТБ 941.2, для подтверждения ее соответствия установленным требованиям.

Система качества должна анализироваться и рассматриваться (по крайней мере, один раз в год) руководством лаборатории или другими сотрудниками, по поручению руководства, с целью ее оценки на соответствие политике в области качества и внесения необходимых изменений и уточнений.

Все результаты проверки и анализа деятельности должны быть документированы, в случае необходимости – разрабатываются соответствующие корректирующие мероприятия.

Ответственный за качество должен обеспечить эти действия в течение установленного промежутка времени.

В дополнение к периодическим проверкам лаборатория должна участвовать в мероприятиях, обеспечивающих качество выполняемых работ, таких как:

- участие в программах контроля качества и межлабораторных сличениях;

- организация внутреннего контроля с использованием статистических методов обработки результатов измерений;

- регулярное исследование состояния и применения измерительного оборудования, включая эталоны, стандартные образцы и другие средства измерений;

- инспекционный контроль и внутрилабораторные испытания стандартных образцов, изделий и материалов, имеющих в лаборатории;

- корректировка межповерочных интервалов используемых средств измерений.

Лаборатория должна располагать персоналом для выполнения возложенных на нее обязанностей, находящихся в сфере ее компетенции, имеющим соответствующее образование, профессиональную подготовку, технические знания и опыт.

Персонал, проводящий поверку средств измерений, должен иметь квалификацию поверителя в соответствующей области измерений, должен знать круг и пределы своих обязанностей и полномочий.

Каждая категория технических сотрудников должна иметь должностную инструкцию, устанавливающую обязанности, права и ответственность, а также требования к образованию, подготовке, техническим знаниям и опыту работы.

Лаборатория должна обеспечивать обучение и своевременное повышение квалификации персонала.

Данные о квалификации, профессиональной подготовке каждого технического работника должны храниться в его личном деле.

Размещение лаборатории, помещения и площади, используемые для поверки и испытаний, источники энергии, освещение, отопление, вентиляция и влияние других внешних факторов должны обеспечивать надлежащее выполнение работ в области поверки и испытаний.

Условия окружающей среды, при которых осуществляется поверка и испытания, эксплуатация эталонов и измерительного оборудования, должны гарантировать получение достоверности результатов измерений. Особое внимание этому должно уделяться в тех случаях, когда деятельность ведется на местах, отличающихся от стационарных (временные рабочие места, передвижные лаборатории и т. д.).

Лаборатория должна располагать возможностями управления, контроля и регистрации условий окружающей среды. Соответствующим образом должны быть учтены температура, изменения температуры, влажность, освещенность, вибрация, запыленность, чистота, электрические и магнитные поля и другие факторы, влияющие на результаты измерений.

Факторы, влияющие на результаты измерений, должны постоянно отслеживаться и регистрироваться. При необходимости, в обоснованных случаях, в результаты измерений должны быть внесены компенсирующие поправки. В этом случае регистрационные записи должны содержать как первоначальные, так и скорректированные значения.

Помещения лаборатории должны быть аттестованы по внешним факторам, влияющим на результаты измерений, и иметь соответствующий документ.

Доступ к местам проведения испытаний и поверки должен быть ограничен для посторонних лиц.

В лаборатории должно быть обеспечено соблюдение требований безопасности и охраны здоровья персонала. Руководитель несет ответственность за соблюдение этих требований.

Лаборатория должна быть оснащена измерительным оборудованием, необходимым для проведения поверки и испытаний, в соответствии с областью ее деятельности. В случаях использования оборудования другой организации, лаборатория должна осуществлять контроль этого оборудования с целью соблюдения требований ГОСТ 941.41.

Измерительное оборудование должно иметь установленные метрологические характеристики, необходимые для его применения (диапазон, точность, стабильность, разрешающую способность и т. д.).

Оборудование, используемое для поверки и испытаний, и его документация должны поддерживаться в актуализированном состоянии с учетом всех поправок, условий применения, включая условия окружающей среды (допускается сужать границы этих условий, но не рекомендуется их расширять), плана технического оснащения и модернизации, а также других условий, необходимых для достижения требуемой точности.

Все оборудование должно надлежащим образом обслуживаться, а процедуры обслуживания документированы. Оно должно иметь маркировку, действующее клеймо, или свидетельство о поверке, или другие формы подтверждения его состояния после проведения поверки, аттестации или сличения.

Доступ к регулировочным устройствам на измерительном оборудовании, установка которых влияет на метрологические характеристики, должен быть опломбирован или ограничен другим способом, чтобы предотвратить вмешательство неуполномоченных сотрудников. Пломбы должны иметь такую конструкцию, чтобы вмешательство было сразу замечено.

Все измерительное оборудование должно иметь этикетки, кодовые обозначения или другую маркировку, указывающую на подтверждение его статуса. Любое ограничение области применения должно быть указано на оборудовании.

В этикетке указываются дата последней поверки, когда оборудование должно проходить следующую поверку, кто является ответственным за предстоящую поверку.

Измерительное оборудование, которое не требует прохождения поверки, а проверяется только на функционирование, должно быть четко маркировано.

Любая единица измерительного оборудования, которая была подвергнута перегрузке, показала отклонения или вызывает сомнение в отношении нормального функционирования, или превысила установленный межповерочный интервал, или имеет поврежденную пломбу, должна быть изъята из эксплуатации или иметь заметную маркировку.

Лаборатория должна проводить техническое обслуживание оборудования, регламентированное в эксплуатационной документации либо других нормативных документах (НД).

В целях учета оборудования и его технического состояния должны регистрироваться следующие сведения:

- наименование и тип оборудования;
- предприятие-изготовитель (фирма);
- заводской и инвентарный номера;
- даты изготовления, получения и ввода в эксплуатацию;
- состояние при покупке или вводе в эксплуатацию;
- место расположения стационарного оборудования и размещения переносного и движимого оборудования;
- дата и результаты поверки (аттестации, сличений) и дата последующей поверки;
- неисправности, ремонты и техобслуживание.

В лаборатории должен быть установлен порядок получения, обращения, транспортирования и хранения измерительного оборудования. Она должна располагать действующими НД, необходимыми для проведения испытаний, поверки и аттестации, а также руководящими документами и рекомендациями, относящимися к работе лаборатории.

Лаборатория должна применять установленные методики измерений для выполнения всех видов работ в области поверки и испытаний. Методики должны обеспечивать необходимую точность и другие требования стандартов и иных НД, относящихся к проводимым работам; должна иметь документированные методики для работ, связанных с данным видом деятельности, включая отбор проб или образцов, их транспортирование, хранение и подготовку, а также получение и хранение используемых в технической деятельности лаборатории материалов; должна использовать методики, имеющиеся в международных, межгосударственных и национальных стандартах, либо собственные, содержащие достаточный объем информации, обеспечивающий их правильное применение в каждом конкретном случае.

При использовании для проведения измерений, поверки, аттестации автоматизированного оборудования и (или) электронно-вычислительных машин лаборатория должна иметь:

- документированное программное обеспечение;
- специальные методики получения и обработки данных. Методики должны быть защищены от возможности их корректировки без соответствующего на то разрешения.

Лаборатория должна иметь документированную систему регистрации и маркировки поступивших на поверку и испытания средств

измерений или объектов испытаний для возможности их поиска (обнаружения) в любое время и на любом этапе проводимых работ.

Средства измерений должны поступать на поверку с комплектом эксплуатационной документации.

Образцы проб, предъявляемые на испытания, должны соответствовать своему описанию и быть укомплектованы в соответствии с ним, а также иметь методики испытаний.

В случае необходимости предварительной подготовки объектов к проведению поверки и испытаний лаборатория должна оговорить с заказчиком, кем будут проводиться данные работы.

Лаборатория должна располагать условиями, исключающими возможность повреждения объектов поверки и испытаний при их хранении, перемещении, подготовке и в процессах самой поверки или испытаний. Если объекты или их составные части должны храниться или находиться в специальных условиях окружающей среды, то эти условия должны соблюдаться. Лаборатория должна иметь документы, регламентирующие получение, хранение и безопасность размещения средств измерений и объектов испытаний.

Лаборатория должна располагать системой регистрации результатов поверки и испытаний, соответствующей существующим правилам, указанным в НД или установленным в лаборатории. Регистрация результатов измерений, испытаний должна содержать необходимый объем информации, позволяющий провести их повторно, а также определить персонал, ответственный за подготовку и проведение поверки и испытаний.

Все материалы регистрации, свидетельства и протоколы должны надежно храниться, исключая доступ к ним посторонних лиц.

Результаты каждой поверки и испытаний, проведенных лабораторией, должны протоколироваться аккуратно, четко и объективно, в соответствии с методиками поверки и испытаний. Результаты должны быть оформлены в виде свидетельства, протокола поверки или испытаний и должны включать всю информацию, связанную с оценкой проводимых работ.

Каждое свидетельство или протокол должны включать в себя следующее:

- заголовок (свидетельство о поверке или испытании, протокол поверки или испытания);
- наименование лаборатории, где проводились поверка или испытания;
- номер свидетельства, протокола;

- наименование организации заказчика;
- наименование (тип) средства измерений или объекта испытаний, их характеристики;
- дату проведения (начало-окончание) поверки или испытаний, а при необходимости – дату получения объекта;
- тип, номер применяемого измерительного оборудования (включая эталоны, стандартные образцы);
- наименование и обозначение НД, на основании которого проводится поверка или измерения;
- описание методики отбора образцов;
- информацию, относящуюся к специфике поверки или испытания (например, условия окружающей среды и т.п.), а также любые отклонения, дополнения или исключения из методики и др.;
- полученные результаты измерений и зарегистрированные отказы;
- оценку погрешности результатов измерений или поверки;
- подпись и должность (или соответствующая идентификация) лица, ответственного за оформление и содержание свидетельства и протокола, дату его выдачи;
- ссылку на документ, запрещающий эксплуатацию или применение данного объекта поверки или испытания, в случае его несоответствия установленным требованиям.

Если свидетельство или протокол содержит результаты поверки или испытаний, проведенных другими (субподрядными) организациями, то это должно быть отражено в документах.

Свидетельство или протокол в части представления результатов поверки и испытаний должны быть по возможности стандартизованы.

Лаборатория должна обеспечивать возможность получения результатов поверки и испытаний клиентам в удобной для них форме.

Изменения, вносимые в свидетельства и протоколы, должны оформляться в виде отдельного документа или другим способом, установленным органом по аккредитации.

Вопросы для самоконтроля

1. Цель и задачи профилактических испытаний.
2. Нормы профилактических испытаний основного электрооборудования.
3. Что такое аккредитация и аттестация испытательных лабораторий?
4. Принципы стандартизации и сертификации при испытаниях.
5. Последовательность аккредитации испытательных лабораторий.

Тема 7. ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ (КР)

План

Организация капитального ремонта электрооборудования. Диагностирование узлов электрооборудования при капитальном ремонте. Методы неразрушающего контроля, приборы и оборудование. Диагностирование электрооборудования после капитального ремонта.

7.1. Капитальный ремонт электрооборудования. Общие требования к организации ремонта

Капитальный ремонт электрических машин включает операции по замене всех или части обмоток; замене, ремонту и восстановлению изношенных или вышедших из строя деталей и узлов; проведению послеремонтных контрольных испытаний. Выполняемые при капитальном ремонте операции должны обеспечивать работу электрических машин в течение ремонтного цикла, т. е. до следующего капитального ремонта или списания.

Капитальный ремонт электрических машин проводится, как правило, на специализированных электроремонтных предприятиях. В условиях сельского хозяйства из-за сложившихся обстоятельств еще значительное количество электрических машин ремонтируется на небольших ремонтных предприятиях, в цехах, не имеющих специального технологического оборудования. На этих участках велика доля ручного труда, не всегда выдерживается технологическая дисциплина, себестоимость ремонта значительно выше себестоимости ремонта на специализированных предприятиях.

Электрические машины подлежат капитальному ремонту при наличии хотя бы одной из следующих неисправностей: межвитковое замыкание в обмотках; обугливание изоляции обмоток; снижение сопротивления изоляции ниже нормы, не поддающееся восстановлению сушкой; обрывы бандажей ротора; повреждение узла контактных колец и коллектора, требующее для ремонта разборки; трещины в корпусе и подшипниковых щитах; изгиб вала, износ или повреждение его шеек; износ или повреждение посадочных мест в корпусе и подшипниковых щитах.

Вопрос о капитальном ремонте электрических машин, относящихся к основному энергетическому оборудованию, должен решаться в каждом отдельном случае в зависимости от технических,

экономических и производственных факторов, определяющих целесообразность ремонта.

Общие требования к сдаваемому в капитальный ремонт электрооборудованию: оно должно быть очищено от масла, пыли и других загрязнений; собрано и полностью укомплектовано (допускается прием в ремонт при частичном отсутствии мелких крепежных деталей, гаек и др.); не должно быть отступлений от конструкции завода-изготовителя; с валов электрических машин должны быть сняты шкивы, полумуфты, шестерни.

В капитальный ремонт не принимается электрооборудование, работоспособность которого можно восстановить при текущем ремонте, а также электрооборудование, у которого разбит корпус, отбито более двух лап, значительно повреждена активная сталь. Кроме того, в капитальный ремонт не принимается электрооборудование, ранее отремонтированное способами, исключающими его последующее восстановление при ремонте.

Годовые планы капитальных ремонтов составляет главный энергетик хозяйства на основании данных осмотров, профилактических измерений и проверок.

7.2. Схема технологического процесса ремонта электрических машин

Производственный процесс ремонта начинается с момента доставки электрических машин в здание электроремонтного предприятия или цеха и осуществляется в следующем порядке (рисунок 7.1): разборка, дефектация и определение объема ремонта; ремонт, изготовление и замена частей деталей; сборка, испытания и окраска машины.

В цехе на комплектовочном участке производят приемку машин в ремонт. Там же передают их в дефектационно-подготовительное отделение, после разборки части машин сдают в ремонт другим отделениям.

На участке разборки машины очищают, осматривают и проводят предремонтные испытания для выявления дефекта. Затем машины разбирают.

В слесарно-механическом отделении ремонтируют и изготавливают коллекторы, контактные кольца, валы, подшипники скольжения, подшипниковые щиты и крышки, вентиляторы и другие части.

В обмоточном отделении выполняют работы по ремонту, изготовлению и замене обмоток. Здесь же проводится ревизия обмоток и определяется характер их ремонта или вид профилактической обработки (пропитка, лакировка, сушка). На пропиточно-сушильном участке производят пропитку лаками, покрытие эмалью и сушку обмоток, компаундирование катушек, чистку, промывку обмоток и удаление старого лакового покрытия.

Отремонтированные сборочные единицы и детали поступают на сборку. Собранные машины передают на испытательную станцию и после испытаний возвращают на сборочный участок для окончательной отделки, установки крышек. Отремонтированные машины окрашивают и отправляют на склад.

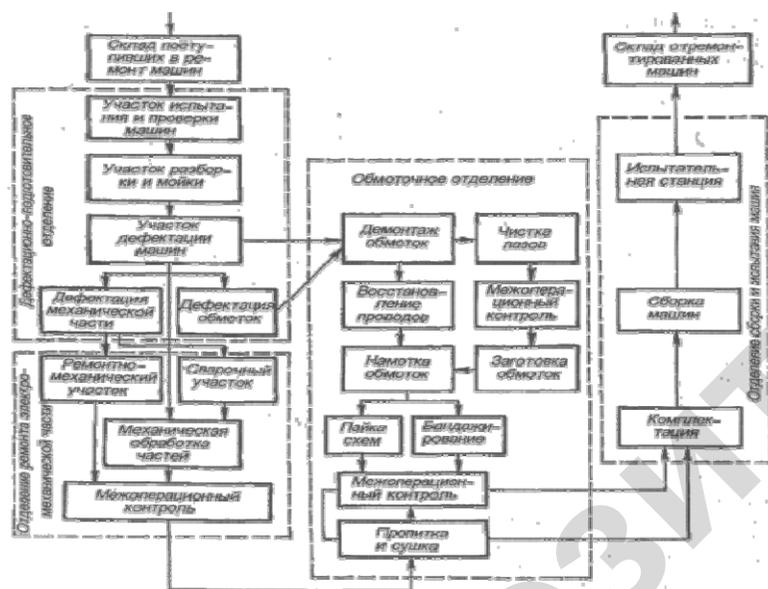


Рисунок 7.1 – Типовая структурно-технологическая схема ремонта электрических машин

7.3. Осмотр, разборка, дефектация и подготовка электрической машины к ремонту

Электрическая машина, поступающая на ремонт, должна быть укомплектована всеми необходимыми деталями; шкив и полумуфта должны быть сняты с вала. Перед разборкой надо проверить состояние корпуса, крепящих деталей, фланцев, колодок выводов, выводных концов, осмотреть подшипниковые щиты. Разборку производят осторожно, избегая больших усилий, в следующей последовательности:

- отвинчивают гайки и вынимают болты переднего и заднего подшипниковых щитов и фланцев переднего и заднего подшипников;

- снимают задний подшипниковый щит специальными съемниками или выколотками из цветного металла, а затем – передний. Чтобы не повредить железо и изоляцию обмоток при снятии щитов, предварительно в воздушный зазор между ротором и статором вкладывают лист плотного картона;

- вынимают из статора ротор вместе с передним щитом. На небольших электродвигателях операцию проводят вручную, а на средних и крупных – с помощью специального приспособления и грузоподъемного механизма;

- снимают с подшипника передний щит с помощью специального приспособления;

- вывешивают металлические бирки на основные детали.

Все детали тщательно очищают в моечной машине. Затем ротор электродвигателя с подшипниковыми щитами, подшипниками, фланцами и деталями крепежа отправляют на ремонтно-механический участок.

При дефектации выполняют тщательный осмотр всех узлов и деталей разобранной машины. При оценке состояния подшипниковых щитов легкими ударами молотка простукивают поверхность щитов, выявляя, нет ли в них трещин. Места, вызывающие сомнение, осматривают через лупу для обнаружения волосяных трещин. Границы трещин отмечают мелом.

В шарико- и роликоподшипниках не должно быть шелушения шариков или беговых дорожек, недопустимо также увеличение радиального и осевого зазоров. Величину зазора (люфта) у роликовых и шариковых подшипников определяют с помощью индикатора – прибора КИ-1223, разработанного ГОСНИТИ, или на специальных

стендах. Допустимые зазоры в подшипниках качения приведены в справочной литературе.

Далее осматривают и тщательно проверяют щеткоподъемный механизм, щеткодержатели, пальцы, изоляторы, траверсы, крепеж.

Обращают особое внимание на отсутствие пятен на статоре, характеризующих местные перегревы стали сердечника, и на места паек (сварки) стержней и торцовых колец короткозамкнутого ротора. На поверхности контактных колец не должно быть больших следов выработки, выбоин, трещин, подгаров; на валу – трещин; на шейках вала – раковин, шероховатостей, задиrow, царапин.

При дефектации электрических машин проверяют диаметры посадочных мест, их овальность и конусность, состояние вентилятора и его крепление, сохранность паек петушков, коллектора, плотность прессовки коллекторных пластин и отсутствие па них подгаров, выбоин, дорожек и выступающей слюды. Измеряют величину сопротивления изоляции между коллектором и валом, обмоткой и контактными кольцами. Проверяют прочность бандажей и плотность посадки клиньев.

Износ наружной поверхности ротора или внутренней поверхности статора приводит к увеличению воздушного зазора. При значительном увеличении зазора электрическую машину заменяют новой. Величина воздушного зазора должна быть в пределах, указанных в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Величина воздушного зазора

Частота вращения, об/мин	Воздушный зазор для двигателей мощностью, кВт (ориентировочно)				
	2,5-5	5-10	10-20	20-50	50-100
500-1500	0,35	0,4	0,45	0,5	0,65
3000	0,4	0,5	0,65	0,8	1,0

Увеличение воздушного зазора асинхронных двигателей влечет за собой повышение тока холостого хода и уменьшение коэффициента полезного действия.

При дефектации особое внимание обращают на электрическую часть машины. Чаще всего встречаются три неисправности: обрыв цепи, замыкание между фазными обмотками или обмоткой и корпусом, межвитковое замыкание. Их можно выявить с помощью омметра либо методом симметрии токов или напряжений, милливольтметром, электромагнитом.

В собранной или разобранной машине обрыв в цепи обмотки, не имеющей параллельных ветвей, легко определить вольтметром, а в цепи с параллельными ветвями – омметром или вольтметром (после распайки ветвей). В цепи с обрывами сопротивление всегда значительно больше расчетного.

Обрыв в короткозамкнутом роторе находят методом симметрии токов в режиме короткого замыкания двигателя. Ротор затормаживают, и к статору подводят напряжение в 5–6 раз ниже номинального. В каждую фазу обмотки статора включают амперметр. Если обмотки статора и ротора исправны, показания всех трех амперметров одинаковые и не зависят от положения ротора. При обрыве стержней показания приборов различны и изменяются, когда ротор поворачивают.

Различные показания приборов, не зависящие от положения ротора, указывают на неисправность статора (межвитковое замыкание, неправильное соединение катушек в обмотке статора и т. п.). Межвитковое замыкание в обмотке статора обычно определяют методом симметрии токов в режиме холостого хода, а для генератора – методом симметрии напряжений (вместо трех амперметров в схему включают три вольтметра).

В разобранной машине определяют обрыв в цепи короткозамкнутого ротора и витковое замыкание в цепи статора или якоря (машины постоянного тока), используя для этого электромагнит. Ротор помещают на электромагнит и поворачивают вручную. Стальная пластинка, прикладываемая к пазам ротора, вибрирует на исправных пазах и не вибрирует на пазах, где размещены оборванные стержни. Для определения виткового замыкания в обмотке статора электромагнит помещают в расточку статора и передвигают по ней. Стальная пластинка, прикладываемая к пазам, начинает вибрировать как только попадает на паз, в котором помещается поврежденная катушка обмотки.

Для обнаружения дефекта витковой изоляции рекомендуется применять выпускаемые для этой цели аппараты серии СМ и ЕЛ-1 или прибор ВЧФ5-3. При определении витковых замыканий к зажимам аппарата СМ или ЕЛ-1 подключают две фазы статорной обмотки электродвигателя и подают на них импульсы напряжения высокой частоты. При отсутствии короткозамкнутых витков в диагностируемых обмотках на экране прибора наблюдается одна кривая (может быть небольшое раздвоение в верхней части), при наличии виткового замыкания кривые раздваиваются. Прибор ВЧФ5-3

позволяет определить не только наличие дефекта в витковой изоляции, но и пробивное напряжение изоляции в месте дефекта. Контроль рекомендуется проводить при напряжении 1500 В.

7.4. Ремонт и изготовление новых обмоток

Способы удаления поврежденной обмотки. При механическом способе корпус электродвигателя с пакетом статора и обмоткой устанавливают на токарный или фрезерный станок и резцом или фрезой обрезают одну из лобовых частей обмотки. Затем с помощью электро- или гидропривода извлекают из пазов оставшуюся часть. Иногда, обрезав лобовую часть обмотки, статор обжигают в печи при температуре 300–350 °С в течение 4–6 ч. После этого оставшуюся обмотку легко вынимают из пазов. Такой способ называют термомеханическим.

Корпус статора устанавливают в печи горизонтально. Вертикальное размещение недопустимо, так как может ослабнуть посадка сердечника в корпусе и произойти его сдвиг. Статор с алюминиевым корпусом операции выжигания не подвергают из-за того, что изменяются размеры корпуса, ослабевает посадка сердечника. При выжиге изоляции роторов контактные кольца должны быть сняты. Повышать температуру более 350 °С нельзя, так как возможно нарушение между листовой изоляцией сердечника и изменение магнитных свойств электротехнической стали в сторону ухудшения. Печи оборудуются вытяжной вентиляцией для удаления образующихся при обугливания изоляции вредных газов. После извлечения изделия из печи его охлаждают до температуры 50–60 °С, и только после этого удаляют обмотку.

Другой метод разрушения изоляции заключается в том, что сердечник помещают на 6–8 ч в ванну с 10%-ным раствором подогретого до температуры 80–90 °С едкого натра (каустическая сода). После извлечения обмотки из статора или ротора сердечники промывают в проточной воде и сушат. Этот метод трудоемок и требует большого расхода воды и нейтрализации отработанных растворов, сливать которые в канализацию нельзя.

Наиболее прогрессивным следует считать метод ослабления пазовой изоляции за счет высокочастотного нагревания сердечника. При этом тепло от сердечника передается пазовой изоляции через лак, находящийся между ними, а от пазовой изоляции через лак – к проводникам. При интенсивном нагреве температура лака между

сердечником и пазовой изоляцией будет выше, чем между проводниками и пазовой изоляцией, а цементирующая способность лака – ниже. При извлечении из нагретого сердечника обмотки последняя выходит вместе с пазовыми коробочками, оставляя паз чистым. Дополнительные работы по очистке паза практически не требуются.

Высокочастотная установка типа ВЧИ-63/0,44 работает в диапазоне частот 429–451 кГц, ее номинальная мощность 63 кВт, средняя производительность – 160 статоров в смену. Перед началом работы ее настраивают на партию однотипных статоров, в соответствии с внутренним диаметром и длиной сердечника выбирают индуктор. Зазор между индуктором и сердечником должен быть минимальным.

Укладка новой обмотки. После извлечения старой обмотки из пазов и их обработки (продувка сжатым воздухом) в пазы укладывают заранее подготовленные главную изоляцию (гильзование пазов) и обмотку, одновременно вставляя межфазную изоляцию и пазовые клинья. Затем соединяют обмотку статора в соответствии со схемой, сваривают с помощью графитового электрода и трансформатора (вторичное напряжение 6–18 В, мощность – 1 кВт-А) и изолируют.

Обмотки статоров асинхронных электродвигателей, состоящие из катушек, укладывают («высыпают») в полузакрытые пазы в один или два слоя. Катушки из мягкой проволоки наматывают на универсальные шаблоны, а затем укладывают в пазы, формируют лобовые части и бандажируют вручную.

Чтобы не повредить изоляцию катушек при их укладке, необходим специальный инструмент: деревянные молотки, фибровые или текстолитовые доски и клинья.

В асинхронных двигателях с фазным ротором применяют катушечные обмотки («выспные» и с укладкой впротыжку) и стержневые. В машинах небольшой мощности используют «выспные» обмотки; технология их изготовления такая же, как статорных.

Перед двух- и трехкратной пропиткой изоляцию обмотки испытывают повышенным напряжением относительно корпуса и между фазами, проверяют, нет ли межвитковых замыканий и правильно ли собрана схема. Обмотку сушат, затем пропитывают и снова сушат в электропечи с автоматическим регулированием температуры.

Температура и продолжительность сушки зависят от марки применяемых лаков и класса нагревостойкости изоляции электродвигателя. Для ускорения сушки в печи должна быть циркуляция воздуха.

После укладки, соединения, пропитки и сушки проводят межоперационный контроль обмоток.

Замена устаревших материалов. Электродвигатели серий А(АО) и А2(АО2) при ремонте необходимо модернизировать. Заменяя ранее применявшиеся материалы новыми, более качественными, повышают надежность, класс нагревостойкости и, следовательно, мощность двигателя (до 30 %).

Электрокартон и лакоткань (главная межфазная изоляция) заменяются пленкоэлектрокартоном, пленкоасбокартоном, стекломиканитом или синтетическими пленками (триацетатными или полиэтилентерефталатными) типа ПЭТФ, толщиной 0,2-0,35 мм, с высокими диэлектрическими и механическими характеристиками.

Вместо обмоточных проводов марок ПБД и ПЭЛБО с волокнистой и комбинированной изоляцией используют провода марок ПЭВ2, ПЭМ2, ПЭТВ и ПЭТ11 с высокопрочной изоляцией. У них высокая электрическая прочность и хорошая влаго- и химостойкость при очень малой толщине изоляции (максимальная – до 0,09 мм, у провода марки ПБД 0,17– 0,44 мм).

В машинах небольшой мощности пленочную изоляцию применяют даже вместо пазового клипа (в электродвигателях с изоляцией класса нагревостойкости Е — буквый пазовый клин, классов Вир — стеклотекстолитовой).

Обмотки бандажируют электроизоляционными чулками типа АСЭЧ. Для выводных концов используют высококачественные установочные провода марок ПТЛ200, РКГМ и др.; для изоляции выводов катушек, соединений внутри машин и мест паяк – электроизоляционные трубки ТЭ4 и ТКС. Вместо масляно-битумных пропиточных и покровных лаков 447, 460 и др. применяют высококачественные лаки МЛ-92, ПЭ-933 для пропитки обмоток, а электроизоляционные эмали ГФ-92ХС, ГФ-92ГС, ЭП-91 используют в качестве защитного покрытия. Это повышает электрическую и механическую прочность, влаго-, химо- и теплостойкость, теплопроводность обмоток.

7.5. Механический ремонт деталей и узлов электрических машин

Ремонт подшипниковых щитов и станин сводится, в основном, к завариванию трещин и восстановлению размеров посадочных мест. Чаще всего трещины появляются в чугунных подшипниковых щитах или станинах. Если толщина стенки ремонтируемого узла более 5 мм,

то перед ремонтом делают 2 отверстия диаметром 3-5 мм в начале и в конце трещины и снимают кромки под углом 45–60° по всей ее длине. Существует несколько способов заваривания трещин в деталях из чугуна.

Первый способ. Заваривают трещину при начальной температуре детали 18–22 °С медным электродом, обернутым полоской белой жести, с обмазочным материалом ООМ-5 или жидким стеклом. Наплавленную медь посыпают бурой и в процессе наложения шва проковывают.

Второй способ. По обеим сторонам трещины ввертывают стальные шпильки (в шахматном порядке) так, чтобы они проходили через стенку детали, далее шпильки сваривают между собой стальным электродом с обеих сторон детали.

Третий способ. Деталь в опоке с песком нагревают до температуры 700–800 °С в печи или на кузнечном горне и заваривают трещину газовой сваркой, затем деталь медленно остывает в опоке с песком в течение 24 ч или более. При этом способе качество шва очень хорошее.

Если в подшипниковом щите изменились размеры посадочного места, его растачивают, запрессовывают переходное кольцо с толщиной стенки 1,5–2 мм.

При изменении размеров замка срезают его торцовую поверхность на 2–3 мм и на ту же длину протачивают посадочную поверхность нового диаметра, а на валу электродвигателя делают новую заточку в осевом направлении, ограничивающую посадку подшипника.

Ремонт валов и замена подшипников качения. Вал может иметь изгиб, повреждение поверхности шеек, выработку, конусность и овальность шеек. Изогнутый вал правят на винтовом прессе. Царапины, забоины и шероховатости шеек вала устраняют шлифовкой и полировкой вручную или на станке. Изношенные шейки валов наплавливают, а трещины в валах заваривают, если они распространены вглубь не более чем на 10 % диаметра вала и занимают не более 10 % его окружности (для поперечных трещин). После наплавки вал протачивают на токарном станке и шлифуют специальным приспособлением. При необходимости делают новый вал из стали марки Ст45.

Шарики- и роликоподшипники, как правило, не ремонтируют. При износе рабочих поверхностей колец и тел качения подшипники заменяют новыми.

Подшипник считают изношенным, если зазор между шариком (роликом) и обоймой превышает следующие величины: 0,1 мм – для валов диаметром до 80 мм; 0,3 мм – для валов диаметром более 80 мм.

Новый подшипник подбирают по номеру старого или путем сопоставления их размеров. Шарико- и роликоподшипники снимают с вала съемником. Захваты съемника накладывают на внутреннее кольцо подшипника. Подшипники до съема нагревают, поливая их горячим маслом температурой не более 100 °С если они не поддаются съему, а надевают, предварительно разогрев в масле до температуры 95 °С.

Ремонт активной стали статора и обмотки короткозамкнутого ротора. При пробое обмотки на корпус или между фазами активная сталь статора может быть оплавлена. В этом случае, удалив старую обмотку, снимают наплавленный металл, иногда вырубая часть зубца и ставят протез из твердого изоляционного материала.

Короткозамкнутые обмотки роторов выполняют литыми или сварными. Типичные повреждения литой обмотки – разрыв короткозамыкающего кольца и стержня в пазу, а сварной – ослабление или нарушение контакта между стержнями и кольцом, обрыв или подгорание стержней.

Ремонт литой обмотки заключается в устранении трещин пайкой (число трещин не более двух на каждом кольце). Поврежденные места очищают от грязи и промывают бензином. Места трещин расширяют и разделяют по форме ласточкина хвоста, но не более 2/3 толщины кольца. Ротор устанавливают так, чтобы дефектное место располагалось горизонтально, нагревают газовой горелкой до температуры 350–400 °С и залуживают припоем, состоящим из 15 % олова, 20 % кадмия, 65 % цинка или 63 % олова, 33 % цинка, 4 % алюминия. В процессе лужения протирают залуженную поверхность щеткой из кардоленты. Облуженную трещину заполняют указанным припоем, подавая его с прутка. Излишки припоя снимают стальной гладилкой в горячем состоянии. Трещины также могут быть устранены аргоно-дуговой сваркой.

Литые обмотки, имеющие обрывы стержней, не восстанавливаются. При обрывах стержней можно выплавить алюминий из пазов и залить новый. Однако такой ремонт даже на крупных электроремонтных предприятиях не производят из-за того, что для заливки обмотки требуется большое количество оснастки (на каждый тип

ротора – свой литейный кокиль), первичного алюминия, нет гарантии высокого качества заливки.

При ослаблении или нарушении контакта стержня и кольца проводят ремонт сварной обмотки. Зачищают и паяют поврежденное место медно-фосфористым припоем. При пайке не следует допускать перегрева меди. При ослаблении стержня в пазу выполняют расчеканку.

Трещины стержней, расположенные на выступающей из сердечника части, устраняют сваркой, если глубина трещины не более 1/4 толщины стержня. Если трещина более глубокая, то ремонт усложняется.

Отремонтированные роторы необходимо динамически балансировать.

Ремонт коллекторов и контактных колец. Наиболее часто встречающиеся дефекты: царапины, выработка и подгорание контактных пластин, трещины в пластмассе, местное выгорание пластмассы, электрический пробой изоляции, замыкание пластин на корпус и между собой, распайка пластин с обмоткой.

Коллекторы на пластмассе, как правило, ремонтируются без разборки, а на стальной втулке, по необходимости, – разбираются, в них заменяются отдельные контактные и изоляционные пластины.

При ремонте без разборки коллектор обтачивают, фрезеруют канавки, шлифуют и полируют. Обточкой устраняют значительные неровности, появившиеся из-за изнашивания или повреждения коллектора. При малых неровностях его достаточно отшлифовать. Протачивают коллектор обычно на токарных станках при низкой частоте вращения вала и малой подаче резца.

После проточки изоляцию между пластинами фрезеруют на глубину 0,5–2 мм, в зависимости от диаметра коллектора. В некоторых случаях канавки между пластинами делают вручную ножовочным полотном или специальным скребком. На боковых сторонах канавок не должно оставаться чешуек слюды: грани пластин коллектора обрабатывают шабером или тонким напильником. Канавки приводят в порядок при любом ремонте коллектора, даже если его не протачивали.

Шлифуют коллектор чаще всего на токарном станке с помощью мелкозернистой шкурки, натянутой на деревянную колодку. После обточки и шлифования коллектор и машину продувают сжатым воздухом и прочищают.

Для полирования поверхности пластин коллектора используют мелкозернистую шлифовальную шкурку (№ 100), поверхность смазывают техническим вазелином. Шлифовать и полировать крупнозернистой шкуркой недопустимо. При обточке, шлифовании и полировании необходимо следить за тем, чтобы пыль не попадала в обмотку машины.

После полирования коллектор протирают чистой салфеткой, слегка смоченной бензином. Поверхность должна быть зеркальной; эксцентриситет – не более 0,05 мм.

При замыкании между пластинами или их выгорании коллектор разбирают, предварительно отпаяв концы обмотки и надев на него хомут. Отворачивают гайку, крепящую коллектор, сдвигают нажимной конус с манжетой, снимают комплект пластин с хомутом. Осматривают коллектор и устраняют обнаруженные повреждения: спиливают острые углы «ласточкина хвоста» или нажимного конуса, заменяют выгоревшие пластины, ремонтируют прокладки между ними или миканитовую манжету. Желательно собирать коллектор, используя пресс. Детали коллектора подпрессовывают повторно после его нагрева до температуры 170–180 °С. Технология обработки поверхности коллектора при ремонте его с разборкой аналогична технологии обработки без разборки. Отремонтированный коллектор проверяют и, убедившись, что нет замыканий, направляют на сборку с машиной.

При ремонте контактных колец их обычно протачивают и полируют, если они имеют отклонения от цилиндрической формы или значительные подгорания, раковины или выбоины. Усиливают или заменяют изоляцию, состоящую из пропитанного льняным маслом электрокартона, микафолия или гибкого миканита.

Нагретые контактные кольца с помощью прессы насаживают на изолированную втулку и сушат. Затем наружные поверхности изоляции колец покрывают серой эмалью и снова сушат в печи. После сушки сопротивление изоляции колец должно быть не менее 1 Мом, она должна выдерживать пробивное напряжение не менее 2,5 кВ при рабочем напряжении двигателя 220–380 В.

7.6. Испытания электрических машин после ремонта

После ремонта производится обкатка машин и приемосдаточные испытания по нормам, приведенным в ПТЭ. Общие методы испытаний электрических машин изложены в ГОСТ 11828.

Заключение о пригодности к эксплуатации дается не только на основании сравнения результатов испытаний с нормами, но и по совокупности результатов всех проведенных испытаний и осмотров. Значения полученных при испытаниях параметров должны быть сопоставлены с исходными параметрами, а также с результатами предыдущих испытаний электрических машин.

Под исходными параметрами понимаются значения, указанные в паспорте машины, протоколах испытаний завода-изготовителя, стандартах и технических условиях. При отсутствии таких значений в качестве исходных могут быть приняты значения параметров, полученные при приемосдаточных испытаниях после монтажа или испытаниях по окончании восстановительного ремонта электрической машины.

Программой испытаний двигателей переменного тока после капитального ремонта предусмотрены следующие операции:

- испытание стали статора двигателей с обмотками из прямоугольного провода (удельные потери – не более 5 Вт/кг, наибольший перегрев зубцов при $B_2 = 1$ Тл – не выше 45 °С, наибольшая разность перегрева различных зубцов при той же индукции – не более 30 °С);

- измерение сопротивления изоляции обмоток статора, ротора, термоиндикаторов с соединенными проводами и подшипников;

- испытание обмоток статора и ротора при собранном двигателе повышенным напряжением промышленной частоты длительностью 1 мин. Значения испытательных напряжений обмоток в процессе их изготовления и после сборки машины приведены в справочной литературе. Результаты испытаний считаются положительными, если не наблюдалось скользящих разрядов, толчков тока утечки или нарастания его установившегося значения, пробоев или перекрытий, если сопротивление изоляции, измеренное мегомметром после испытаний, осталось прежним;

- измерение сопротивления обмоток статора и ротора (проводится для двигателей мощностью 300 кВт и более или для двигателей с $U > 3$ кВ), реостатов и пускорегулирующих резисторов постоянного тока. Отклонения сопротивления обмоток от паспортных и по фазам – не более 2 %, для реостатов – не более ± 10 %;

- испытание витковой изоляции обмоток из прямоугольного провода импульсным напряжением высокой частоты в течение 5–10 с;

- измерение воздушного зазора (если позволяет конструкция) в четырех, сдвинутых на 90°, точках (измеренные зазоры не долж-

ны отличаться от среднего более чем на 10 %) и зазоров в подшипниках скольжения и качения;

- проверка работы двигателя на холостом ходу (для двигателей мощностью 100 кВт и более, напряжением 3 кВ и выше). Ток холостого хода не должен отличаться более чем на 10 % от указанного в каталоге. Продолжительность испытания 1 ч;

- измерение вибрации подшипников (для двигателей напряжением 3 кВ и выше и двигателей ответственных механизмов). Максимально допустимые амплитуды вибрации равны: 50; 100; 130; 160 мкм – для двигателей с частотой вращения соответственно 3000; 1500; 1000; 750 об/мин и менее;

- проверка работы двигателя (напряжением выше 1 кВ или мощностью 300 кВт и более) под нагрузкой. Величина нагрузки – не менее 50 % номинальной;

- проверка исправности стержней короткозамкнутых обмоток роторов электродвигателей мощностью 100 кВт и более (все стержни должны быть целыми) и срабатывания защиты машин, напряжением до 1000 В, при питании от сети с заземленной нейтралью (проводится у машин с $11_n > 42$ В, работающих в опасных и особо опасных условиях, а также у машин $11_n > 380$ В).

Вопросы для самоконтроля

1. Как осуществляется организация капитального ремонта электрооборудования?
2. Опишите диагностирование отдельных узлов электрооборудования при капитальном ремонте.
3. Какие методы неразрушающего контроля вы знаете?
4. Как проводится диагностирование электрооборудования после капитального ремонта?

Тема 8. ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ ОБОРУДОВАНИЯ

План

Диагностирование электродвигателей и генераторов, ПЗА. Диагностирование электродонагревателей. Диагностирование осветительного и облучательного оборудования, источников света и облучения. Диагностирование погружных электродвигателей.

Определение технического состояния электрооборудования по системе ППРЭсх с диагностированием производится при техническом обслуживании, плановом диагностировании во время текущего и капитального ремонтов, но объемы и задачи диагностирования в указанных видах ремонтных работ неодинаковы.

Техническое состояние электрооборудования при техническом обслуживании и плановом диагностировании определяют без существенной его разборки. В случае необходимости снимаются крышки клеммных коробок, защитные сетки вентиляционных окон и другие детали, которые обеспечивают доступ к исследуемым узлам.

Диагностирование производится, как правило, с помощью переносных приборов и приспособлений или автоматических диагностирующих устройств, если доступ к электрооборудованию затруднен (дистанционно).

Диагностирование обмоток электрических машин и аппаратов во многом проводится внешним осмотром. Он дает возможность судить о степени загрязнения обмоток, наличии замыканий, перегреве и пр.

При отказах электрооборудования оно подвергается внеплановому диагностированию для определения поврежденных деталей и узлов, а также вида ремонта.

Оборудование, приборы, приспособления и инструмент для диагностирования электрооборудования

Компрессор диафрагменный СО-45А.

Прибор для диагностирования изоляции электродвигателей КИ-6417.

Прибор для диагностирования подшипников электродвигателей КИ-6411. Аппарат ВЧФ-5-3.

Мост постоянного тока Р-333.

Мост переменного тока Р-5026.

Комбинированный прибор Ц-4341.

Мегомметры М-4100/3, М-4100/5.
 Клещи электроизмерительные Ц-4501.
 Микроамперметр М-95.
 Источник высоковольтных напряжений ВС-23.
 Амперметр Э-514.
 Вольтметр Э-515.
 Милливольтметр М-253.
 Омметр М-372.
 Приспособление для проверки и регулировки защит электроприводов и электроустановок КИ-6366.
 Приспособление для диагностирования контактных систем магнитных пускателей КИ-6427.
 Штангенциркуль (ГОСТ 166–80).
 Щупы (набор № 3) (ГОСТ 882–75).
 Паяльник электрический (ГОСТ 7219–77).
 Плоскогубцы (ГОСТ 5547–75).
 Молоток с медными бойками ПИМ-640-260.
 Ключи гаечные (ГОСТ 2839–30Е).
 Приспособление для измерения радиального зазора в подшипниках КИ-6178.
 Головки сменные (ГОСТ 3329–75).
 Воротки к сменным головкам 6910-0061, 6910-0062.
 Ключи для деталей с шестигранным углублением (ГОСТ 11737–74).
 Напильник плоский № 2 (ГОСТ 1465–80).
 Надфиль плоский № 2 (ГОСТ 1513–77).
 Отвертка (ГОСТ 17199–71).
 Нож монтерский НМ-2.
 Съемник трехлапчатый МН 3722/34.
 Шприц штоковый (ГОСТ 3643–75).
 Молоток (ГОСТ 2310–77).
 Щетка стальная.
 Щетка щетинная.
 Пинцет.
 Лопатка деревянная.
 Технические характеристики оборудования приборов и приспособлений приводятся в паспортах изделий

Таблица 8.1 – Задачи и цели диагностирования

Вид ремонтных работ	Задачи диагностирования электрооборудования
1	2
Техническое обслуживание	Определение работоспособности, проверка стабильности регулировок, определение необходимости ремонта или замены узлов и деталей, контроль обобщающих параметров (температура отдельных узлов и деталей и др.). Цель – оценить общее техническое состояние и выяснить, требуется ли ремонт электрооборудования. Объем диагностирования ограничен минимальным количеством параметров
Плановое диагностирование	Контроль параметров технического состояния, определение остаточного ресурса узлов и деталей. Цель – определение целесообразности и вида ремонта электрооборудования
Текущий ремонт	Контроль параметров, характеризующих техническое состояние основных узлов и деталей. Определение остаточного ресурса основных узлов и деталей. Цель – определение необходимости замены или ремонта основных узлов и деталей электрооборудования, установление целесообразности сдачи его в капитальный ремонт
Капитальный ремонт	Определение остаточного ресурса обмоток. Цель – определение целесообразности дальнейшей эксплуатации обмоток электрических машин и аппаратов или необходимости их замены

Таблица 8.2 – Диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании

Наименование оборудования	Измеряемые параметры	Средства измерения
1	2	3
Электродвигатели асинхронных единичных серий	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса и обмотки фазного ротора относительно вала. 2. Амплитуда вибрации корпуса и подшипниковых щитов в зоне подшипников. 3. Токи, потребляемые электродвигателем. 4. Температура корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, соединительных выводных концов с подводными питающими проводниками, в зоне контакта щеток с контактными кольцами 	<p>Мегомметры</p> <p>Приборы для измерения амплитуды и вибрации</p> <p>Электроизмерительные клещи</p> <p>Приборы для бесконтактного измерения температуры</p>
Погружные электродвигатели	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сопротивление изоляции обмотки статора. 2. Токи, потребляемые электродвигателем 	<p>Мегомметры</p> <p>Электроизмерительные клещи</p>
Генераторы передвижных электростанций	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса и обмотки якоря относительно вала. 2. Амплитуда вибрации корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников. 3. Температура корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, контактных соединений в коробке выводов, в зоне контакта щеток с контактными кольцами 	<p>Мегомметры</p> <p>Приборы для измерения амплитуды вибраций</p> <p>Приборы для бесконтактного измерения температуры</p>

Продолжение таблицы 8.2

1	2	3
Сварочные генераторы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сопротивление изоляции обмотки якоря и полюсов. 2. Степень искрения щеток при работе. 3. Амплитуда вибрации корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, щеток. 4. Температура коллектора, щеток, доступных мест соединений схемы генератора, выводных зажимов, подшипниковых щитов в зоне подшипников 	<p>Мегомметры</p> <p>Приборы для измерения амплитуды вибрации</p> <p>Приборы для бесконтактного измерения температуры</p>
Сварочные преобразователи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сопротивление изоляции обмоток якоря, полюсов генератора и обмотки статора электродвигателя привода 2. Степень искрения щеток 3. Амплитуда вибрации корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, щеток 4. Температура коллектора, щеток, мест соединений схемы генератора, выводных зажимов генератора, подшипниковых щитов в зоне подшипников, корпуса электродвигателя, соединений выводных концов электродвигателя с подводными питающими проводниками 	<p>Мегомметры</p> <p>Приборы для измерения амплитуды вибрации</p> <p>Приборы для бесконтактного измерения температуры</p>
Магнитные пускатели	<ol style="list-style-type: none"> 1. Температура контактов и мест соединений силовых цепей 2. Задержка в отпуске магнитной системы при отключении магнитного пускателя 	<p>Приборы для бесконтактного измерения температуры</p>
Автоматические выключатели	<p>Температура контактов и мест соединений силовых цепей</p>	<p>Приборы для бесконтактного измерения температуры</p>

Окончание таблицы 8.2

1	2	3
Электроркалориферы	1.Сопrotивление изоляции. 2.Температура воздуха на выходе	Мегомметры Термометры
Электроводонагреватели и парогенераторы	1. Переходное сопротивление между корпусом и шиной контура заземления. 2. Сопrotивление изоляции между корпусом (изолированным) и контуром заземления. 3. Потребляемый ток	Омметры Мегомметры Электроизмерительные клещи

Примечание. При диагностировании электродвигателей, генераторов передвижных электростанций, сварочных генераторов и преобразователей, магнитных пускателей проводится прослушивание их работы с целью обнаружения посторонних шумов и стуков.

Таблица 8.3 – Плановое диагностирование электрооборудования

Наименование операции	Измеряемые параметры	Приборы, приспособления, инструменты
1	2	3
Электродвигатели асинхронных единых серий		
Осмотр, проверка работы, выполнение операций технического обслуживания		Компрессор, ключи гаечные, отвертка
Определение состояния корпуса и межфазной изоляции обмоток, а также изоляции фазного ротора относительно вала	Точки утечки: абсолютная величина (при напряжении 1200 и 1800 В); величина несимметрии в фазах обмотки стабильность при повышении напряжения до 1800 В (отсутствие колебаний и бросков). <i>Примечание.</i> При диагностировании изоляции обмотки фазного ротора величины напряжений уменьшаются пропорционально рабочему напряжению обмотки ротора по отношению к рабочему напряжению обмотки статора	

Продолжение таблицы 8.3

1	2	3
Определение состояния межвитковой изоляции обмоток	Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1500)	Аппарат ВЧФ-5-3
Определение состояния подшипниковых узлов	Величина зазоров в размерной цепи «вал-корпус» при зажатых и отпущенных болтах крепления подшипниковых щитов	Схемы или прибор для диагностирования подшипников КИ-6411
Определение состояния короткозамкнутой обмотки ротора	Величина относительного изменения тока в фазе обмотки статора электродвигателя при поворачивании ротора: $\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}} 100 \%,$ где I_{\max} , I_{\min} – наибольшее и наименьшее значения тока, А	Схемы для проверки обмоток роторов
Проверка центровки вала электродвигателя и рабочей машины	Величина параллельного и углового смещения валов	Приспособление для центровки валов 70-8701-2002
Погружные электродвигатели		
Определение состояния обмотки статора	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 600 В); приращение при повышенном напряжении (от 1000 до 1100); тангенс угла диэлектрических потерь. Величина модуляции тока в фазах обмотки статора при работе электродвигателя. Величина токов, потребляемых электродвигателем из сети	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, мост Р-5626 Амперметр Э-514 Электроизмерительные клещи Ц-4501

Продолжение таблицы 8.3

1	2	3
Генераторы передвижных электростанций		
Осмотр, проверка работы, выполнение операций технического обслуживания		Компрессор, ключи гаечные, отвертка
Определение состояния корпусной и межфазной изоляции обмотки статора	То же, что для электродвигателей асинхронных	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Определение состояния межвитковой изоляции обмотки статора	Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1500 В)	Аппарат ВЧФ-5-3
Определение состояния обмоток полюсов: -изоляция относительно активной стали полюсов; - межвитковая изоляция	Токи утечки: - абсолютная величина (при напряжении 500 и 1000 В) - приращение при повышенном напряжении (от 500 до 1000 В) - стабильность при повышенном напряжении (до 1000 В) Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1000 В)	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95 Аппарат ВЧФ-5-3
Определение состояния подшипниковых узлов	Величина зазоров в размерной цепи «вал-станина». При зажатых и опущенных болтах крепления подшипниковых щитов	Схема или прибор для диагностирования подшипников КИ-6411
Определение состояния щеточного механизма	1. Высота щеток. 2. Усилие нажатия на щетки. 3. Зазор между нижней кромкой обоймы щеткодержателя и поверхностью контактного кольца	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 Динамометр Шаблон

Продолжение таблицы 8.3

1	2	3
Проверка контактных и разрезных колец механического выпрямителя	Величина биения колец	Индикаторы часового типа
Проверка центровки валов генератора и привода	Величина параллельного и углового смещения валов	Приспособление для центровки валов 70-8701-2002
Сварочные генераторы и преобразователи		
Осмотр, опробование генератора и преобразователя, выполнение операций технического обслуживания	Изменение напряжения на зажимах генератора при регулировании сварочного тока	Компрессор и др.
Проверка работы генератора	1. Напряжение на зажимах при номинальном токе генератора. Степень искрения под сбегущим краем щеток при номинальном токе	Вольтметр Э-515 Амперметр Э-514
Определение состояния щеточного механизма	1. Высота щеток. 2. Усилие нажатия на щетки. 3. Зазор между нижней кромкой обоймы щеткодержателя и поверхностью коллектора	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 Динамометр Шаблон
Определение состояния коллектора	1. Глубина залегания изоляции между пластинами коллектора 2. Величина биения коллектора 3. Падение напряжения между расположенными рядом пластинами	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 Индикатор часового типа Схема для измерения падения напряжения, милливольтметр

Продолжение таблицы 8.3

1	2	3
Определение состояния механизма регулирования сварочного тока	1. Изменение сопротивления реостата при вращении маховика регулирования сварочного тока. 2. Величина сопротивления между выводами реостата	Омметр М-372
Определение состояния обмотки якоря	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 500 и 1500 В); стабильность при повышении напряжения (до 1500 В); относительное приращение при повышении напряж. (от 500 до 1500 В)	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Определение состояния изоляции обмоток последовательных катушек главных и дополнительных полюсов, а также параллельных катушек главных полюсов относительно корпуса	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 1500 В); стабильность при повышении напряжения (до 1500 В)	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Определение состояния межвитковой изоляции параллельных катушек главных полюсов	Уровень электрической прочности при приложении высокочастотного напряжения	Аппарат ВЧФ-5-3
Определение состояния электродвигателя привода сварочного преобразования	То же, что для электродвигателей асинхронных	Мегомметр

Продолжение таблицы 8.3

1	2	3
Магнитные пускатели		
Осмотр, проверка работы, выполнение операций техн. обслуживания		Отвертка, ключи гаечные и др.
Определение состояния катушки	Напряжение на контрольной катушке	Приборы или приспособления для проверки катушек аппаратов
Определение состояния контактной системы	Раствор, конечное нажатие, провал контактов	Прибор для измерения параметров контактных систем КИ-6427
Автоматические выключатели		
Осмотр, проверка работы, выполнение операций техн. обслуживания		Отвертка, ключи гаечные и др.
Определение состояния контактной системы	Нажатие, провалы контактов	Прибор для измерения параметров контактных систем КИ-6427
Электрокалориферы		
Осмотр		Компрессор, отвертка, ключи гаечные и др.
Определение состояния трубчатых элементов	1. Сопротивление элементов. 2. Сопротивление изоляции элементов. 3. Ток, потребляемый элементами.	Омметр М-372. Мегомметр М-4100/3. Электроизмерительные клещи Ц-4501.
Определение состояния регулятора температуры	Температура срабатывания регулятора	Термометр ТЛ-4
Определение технического состояния электродвигателя	То же, что для электродвигателей асинхронных	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, аппарат ВЧФ-5-3, мегомметр М-4100/3 и др.

Окончание таблицы 8.2

1	2	3
Электроводонагреватели и парогенераторы		
Осмотр, выполнение операций технического обслуживания		Компрессор, отвертка, ключи гаечные и др.
Определение состояния нагревательных элементов	1. Сопротивление элементов (трубчатых). 2. Сопротивление изоляции элементов. 3. Сопротивление изоляции между корпусом (изолированным) и контуром заземления. 4. Потребляемый ток	Омметр М-372. Мегомметр М-4100/3. Мегомметр М-4100/3. Электроизмерительные клещи Ц-4501
Определение состояния регулятора температуры	1. Температура воды или пара на выходе. 2. Температура срабатывания регулятора	Термометр ТЛ-4

Таблица 8.4 – Диагностирование электрооборудования при текущем ремонте

Наименование диагностируемого узла или детали	Степень разборки электрооборудования	Изменяемые параметры	Средства измерения
1	2	3	4
Электродвигатели асинхронных единых серий			
Обмотки статора и фазного ротора: изоляция обмотки; статора относительно корпуса и между фазами	Статор без подшипниковых щитов и ротора	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 1200 и 1800 В); относительное приращение при повышенном	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3	4
		напряжении (от 1200 до 1800 В); величина несимметрии в фазах обмотки стабильность при повышении напряжения до 1800 В (в отсутствие колебаний и бросков)	
Изоляция обмотки фазного ротора относительно активной стали	Ротор, вынутый из расточки статора	Те же характеристики токов утечки, что для обмотки статора относительно корпуса (за исключением величины несимметрии токов в фазах обмотки). Величины напряжений при диагностировании уменьшаются пропорционально уменьшению рабочего напряжения обмотки ротора по отношению к рабочему напряжению обмотки статора.	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Изоляция обмоток статора между витками		Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1500 В)	Аппарат ВЧФ- 5-3
Изоляция обмоток фазного ротора между витками		Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1000 В)	Аппарат ВЧФ- 5-3
Подшипники	Якорь с подшипниками на валу	Радиальный зазор в подшипниках	Приспособление КИ-6178

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3	4
Сварочные генераторы			
Обмотки якоря	Якорь в сборе	Токи утечки: Абсолютная величина (при напряжении 500 и 1000 В). Приращение при повышенном напряжении (с 500 до 1000 В). Стабильность при повышенном напряжении до 1000 В	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Короткозамкнутая обмотка ротора	Электродвигатель в сборе	Относительное изменение тока в фазе обмотки статора при вращении ротора	Амперметр Э-514
Подшипники	Ротор с подшипниками на валу	Радиальный зазор в подшипниках	Приспособление КИ-6178
Погружные электродвигатели			
Обмотка статора	Электродвигатель в сборе или статор без подшипниковых щитов и ротора	Токи утечки: Абсолютная величина (при напряжении 600 В) Приращение при повышении напряжения (от 1000 до 1100 В)	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Короткозамкнутая обмотка ротора	Электродвигатель в сборе	Тангенс угла диэлектрических потерь. Относительное изменение тока в фазе обмотки статора при вращении ротора	Мост Р-5026 Амперметр Э-514

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3	4
Генераторы передвижных электростанций			
Обмотка статора	Статор без подшипниковых щитов и якоря	То же, что для обмотки статора электродвигателей асинхронных	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, аппарат ВЧФ-5-3
Обмотка полюсов: изоляция обмотки относительно активной стали полюсов	Якорь с полюсами	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 500 и 1000 В). приращение при повышенном напряжении (с 500 до 1000 В); стабильность при повышенном напряжении до 1000 В; Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 800 В)	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Изоляция шунтовой обмотки		Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 800 В)	Аппарат ВЧФ-5-3

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3	4
Обмотка статора электродвигателя	Статор электродвигателя	То же, что для обмотки статора электродвигателей асинхронных	То же
Короткозамкнутая обмотка ротора		То же, что для короткозамкнутых обмоток роторов электродвигателей асинхронных	Амперметр Э-514
Магнитные пускатели			
Обмотка катушки (межвитковая изоляция катушки)	Катушка, снятая с магнитопровода	Уровень электрической прочности межвитковой изоляции	Аппарат ВЧФ-5-3
Контактная система	Магнитный пускатель	Нажатие и провалы контактов	Приспособление для измерения параметров контактных систем КИ-6427
Автоматические выключатели			
Контактная система	Автоматический выключатель в сборе	Нажатие и провалы контактов	То же
Электрокалориферы			
Трубчатые нагревательные элементы	Сняты токопроводящие проводники	1. Сопротивление элементов. 2. Сопротивление изоляции	Омметр М-372 Мегомметр М-4100/3
Регулятор температуры	Электрокалорифер в сборе	Температура срабатывания регулятора	Термометр ТЛ-4

Окончание таблицы 8.4

1	2	3	4
Электродвигатель вентилятора	Электродвигатель в сборе	То же, что для электродвигателя асинхронного	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, аппарат ВЧФ-5-3
Электроводонагреватели и парогенераторы			
Нагревательные элементы	Сняты токопроводящие проводники	1. Сопротивление трубчатых элементов. 2. Сопротивление изоляции элементов	Омметр М-372 Мегомметр М-4100/3
Регулятор температуры	Электроводонагреватель и парогенератор в сборе	1. Температура срабатывания регулятора. 2. Температура воды или пара на выходе	Термометр ТЛ-4

Основными видами электротермического оборудования, используемого в сельскохозяйственном производстве, являются элементные электроводонагреватели (емкостные и проточные) и электрокалориферы. Основными параметрами, характеризующими состояние электротермического оборудования, являются температура нагрева воды (воздуха), переходное сопротивление контакта заземления корпуса (не более 0,1 Ом), сопротивление изоляции ТЭНов (не менее 1 МОм) и питающего кабеля (не менее 0,5 МОм), сопротивление спирали ТЭНов (не должно превышать величину сопротивления в момент поставки более чем на 20 %).

Светотехническое оборудование, используемое в сельском хозяйстве, представлено в основном светильниками и облучательными

ми установками различного назначения. Основными диагностическими параметрами данного оборудования являются световой поток (поток излучения), сопротивление изоляции питающих кабелей и светильников или облучателей (не менее 0,5 МОм), сопротивление контактов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие задачи и цели диагностирования?
2. Какие приборы и приспособления используются при диагностировании электрооборудования?
3. Опишите диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании.
4. Что такое плановое диагностирование электрооборудования?
5. Как проводится диагностирование осветительного и облучательного оборудования?
6. Укажите особенности диагностирования погружных электродвигателей.

Тема 9. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ

План

Классификация изоляции. Методы определения состояния изоляции обмотки. Методы определения состояния витковой изоляции. Непрерывный контроль состояния изоляции по тепловым процессам.

Изоляционными материалами (диэлектриками) называются материалы, у которых электронная электропроводность в обычных условиях не наблюдается. Они используются для изоляции частей электрооборудования, которые находятся под разными электрическими потенциалами.

Электроизоляционные материалы предназначены для электрического разъединения – изоляции частей электротехнического устройства, находящихся под разным электрическим потенциалом. Эти материалы обладают сравнительно высоким удельным электрическим сопротивлением (10^8 – 10^{18} Ом·м), высокой электрической прочностью. Электроизоляционные материалы по нагревостойкости подразделяются на классы в зависимости от допускаемой температуры °С (У-90, А-105, Е-120, В-130, F-155, Н-180, С > 180).

По своему составу и свойствам электроизоляционные материалы разнообразны. Имеются газообразные, полужидкие и жидкие, пропиточные лаки, покровные лаки и эмали, нуждающиеся в последующей сушке при температуре до 105 °С в течение 3–5 ч. Образующаяся при этом изоляционная пленка обладает высокой электрической прочностью (30–80 кВ/мм). Электроизоляционные локоткани имеют удельное электрическое сопротивление 10^{10} – 10^{12} Ом·м, электрическую прочность 30–40 кВ/мм при нагревостойкости 105–180 °С, что указывается в обозначении ткани. Применяются изоляционные пленки, ленты и ленты для подмотки при монтаже. Находят применение слоистые пластмассы, бумага и картон, компаунды, изоляционные полимеры, слюдиниты. Используются намотанными изделиями, керамическими материалами и трубами из разного материала и др.

В практике эксплуатации электроустановок диэлектрики оцениваются по следующим основным характеристикам:

электрическая прочность (пробивная напряженность), под которой принимается отношение пробивного напряжения к толщине диэлектрика:

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h}, \quad (9.1.)$$

где h — толщина диэлектрика, мм; $U_{\text{пр}}$ — напряжение, при котором диэлектрик теряет свои изоляционные свойства (разрушается);

класс нагревостойкости, определяющий способность электроизоляционного материала без вреда для него выдерживать воздействие установленной стандартной температуры;

тангенс угла диэлектрических потерь, который показывает величину потерь энергии в изоляции, находящейся в электрическом поле.

Не следует смешивать понятие «пробой изоляции» с термином «перекрытие изоляции», под которым следует понимать пробой изоляции с меньшей $E_{\text{пр}}$ по поверхности изоляции с большей $E_{\text{пр}}$. При снятии напряжения первая способна восстанавливать свои диэлектрические свойства.

Под действием электрического поля в изоляции происходят сложные процессы. Во-первых, из-за присутствия в диэлектриках свободных зарядов, обусловленных примесями и дефектами строения, в изоляции всегда возникает ток сквозной проводимости i_u ; во-вторых, происходит замедленная поляризация, т. е. смещение и поворот связанных дипольных молекул, создающих ток абсорбции i_a . В-третьих, происходит мгновенная поляризация, представляющая собой упругое смещение и деформацию электронных оболочек атомов и ионов, создающая ток смещения i_c .

Для изучения перечисленных процессов используют схему замещения изоляции, показанную на рисунке 9.1, а. Резистор R_u характеризует сопротивление сквозному току; конденсатор C_a — емкость, обусловленную дипольной поляризацией; конденсатор C_c — емкость электронной поляризации (геометрическая емкость); резистор R_a — эквивалентные потери при дипольной поляризации.

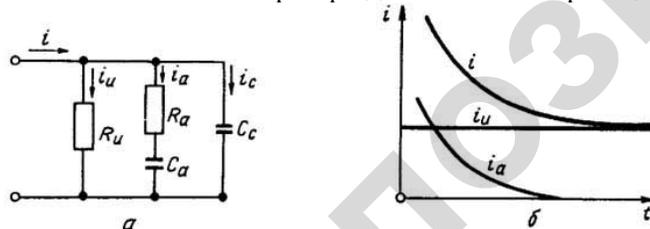


Рисунок 9.1 – Схема замещения изоляции (а) и диаграмма токов, протекающих в ней (б)

На рисунке 9.1, б показаны зависимости токов, проходящих через изоляцию, от времени прохождения под постоянным напряжением. Как видно, ток абсорбции затухает по мере завершения процессов замедленной поляризации, а ток сквозной проводимости сохраняется без изменений. Токи смещения столь кратковременны, что их не учитывают. Суммарный ток i имеет затухающий характер.

Истинное сопротивление изоляции зависит от сквозного тока и его можно определить по формуле:

$$R_u = U / i_u = U / (i - i_a), \quad (9.2)$$

где U — приложенное напряжение, В.

Поскольку измерение i_a связано с определенными трудностями, сопротивление изоляции рассчитывают как частное от деления напряжения на значение тока, установившегося через минуту после включения напряжения. К этому моменту ток i_a затухает и не вносит погрешность. Если же измерение проводить при небольшой выдержке времени, то может создаться неправильное представление о сопротивлении изоляции.

Для исправной изоляции в ПУЭ и ПТЭ установлены нормативы, характеризующие параметры схемы замещения. Например, наименьшее допустимое сопротивление (МОм) изоляции электродвигателя мощностью (кВт) при рабочей температуре определяют по выражению:

$$R_u \geq U_n / (1000 + P_n), \quad (9.3)$$

где U_n — номинальное линейное напряжение, В.

При эксплуатации электрооборудования его изоляция подвергается влиянию рабочего напряжения, кратковременным перенапряжениям от грозовых разрядов и коммутационных операций, механическим и тепловым нагрузкам, загрязнению, увлажнению и др. неблагоприятным воздействиям. В результате этого свойства изоляции непрерывно ухудшаются.

Из схемы замещения видно, что от качества изоляции зависят значения токов утечки, абсорбции, смещения и мощности потерь в цепи $R_a C_a$. Поэтому их принимают за диагностические параметры изоляции. Дополнительно используют характеристики электрической прочности. Задача диагностирования состоит в том, чтобы определить физические значения параметров и сравнить их с соответствующими нормами.

К основным способам диагностирования изоляции относятся: измерение сопротивления изоляции; измерение емкости изоляции;

измерение диэлектрических потерь; испытание повышенным напряжением переменного или постоянного тока.

Полное заключение о состоянии изоляции делают по совокупности результатов измерений. Но в ряде случаев выделяют отдельные определяющие параметры, которые в некоторых условиях достаточно полно оценивают качество изоляции. Такой подход оправдан для выявления конкретных неисправностей изоляции (увлажнение, старение и т. п.).

9.1. Определение увлажненности изоляции по коэффициенту абсорбции

Пусть изоляция некоторого электрооборудования, например, электродвигателя, моделируется схемой замещения (см. рисунок 9.1, а). Из предыдущего рассмотрения процессов электропроводности и поляризации следует, что для заведомо сухой изоляции в процессе измерения суммарный ток $i_{\text{сух}}$ будет резко затухать (рисунок 9.2). У влажной изоляции такого же двигателя суммарный ток $i_{\text{вл}}$ больше и будет затухать медленнее, потому что из-за увлажнения прирост тока сквозной проводимости больше, чем прирост тока абсорбции. Описанный характер изменения суммарного тока определяет динамику сопротивления изоляции. При постоянном напряжении мегомметра сопротивление сухой изоляции $R_{\text{сух}}$ при измерении будет резко увеличиваться, а сопротивление влажной $R_{\text{вл}}$ будет возрастать незначительно. Следовательно, по состоянию сопротивления изоляции, в зависимости от продолжительности измерения, можно определить, увлажнена изоляция или нет.

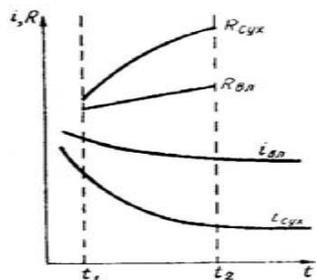


Рисунок 9.2 – Графики изменения полного тока и сопротивления сухой и влажной изоляций

Диагностирование увлажнения изоляции состоит в измерении мегомметром ее сопротивления в моменты t_1 и t_2 ($t_2 > t_1$), после подачи напряжения и определения отношения R_{t_2}/R_{t_1} , называемого **коэффициентом абсорбции**. Обычно принимают $t_1 = 15$ с, $t_2 = 60$ с и рассчитывают R_{60}/R_{15} .

Если $(R_{60}/R_{15}) > 1,3$, то изоляцию считают сухой; если $(R_{60}/R_{15}) \leq 1,3$, то изоляцию признают влажной.

9.2. Определение увлажненности изоляции способом «емкость – частота»

Соотношение величин емкостей абсорбции и смещения изоляции зависит от степени ее увлажнения. В сухой изоляции преобладает электронная поляризация, характеризуемая емкостью смещения, а во влажной – дипольная поляризация (за счет дипольных молекул воды усиливается емкость абсорбции). Абсолютные значения величин этих емкостей имеют различную зависимость от частоты тока (рисунок 9.3).

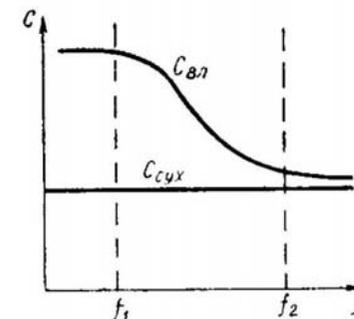


Рисунок 9.3 – Графики изменения емкости сухой и влажной изоляций

Емкость сухой $C_{\text{сух}}$ изоляции практически не зависит от частоты, так как поляризация в ней происходит почти мгновенно. Емкость же влажной изоляции $C_{\text{вл}}$ с ростом частоты убывает. Это объясняется тем, что при малой частоте дипольные молекулы воды успевают следовать (поворачиваться) за полем и $C_{\text{вл}}$ имеет наибольшее значение. Когда же частота становится большой, молекулы из-за своей инертности не успевают следовать за полем. Абсорбционная емкость уменьшается, ее значение приближается к емкости, обу-

словленной лишь электронной поляризацией. Поэтому по степени изменения емкости от частоты можно определить увлажненность изоляции.

Диагностирование увлажнения состоит в измерении емкости изоляции при частоте f_1 , и f_2 ($f_2 > f_1$) и определении отношения C_{f1} / C_{f2} . Обычно принимают $f_1 = 2, f_2 = 50$ Гц и измеряют соответственно C_2 и C_{50} .

Если $(C_2/C_{50}) < 1,2$, то изоляция сухая, если $(C_2/C_{50}) \geq 1,2$ – увлажненная.

Такой способ диагностирования проводят при помощи прибора контроля влажности изоляции типа ПКВ-7.

Определение местных дефектов изоляции по частичным разрядам. Электрическое поле исправной изоляционной системы содержит основную гармонику. При появлении в изоляции каверн, расслоений, трещин и других дефектов равномерность поля нарушается, возникают частичные разряды, создающие высокочастотные колебания. Обнаружение этих колебаний при помощи специального прибора (индикатор частичных разрядов – ИЧР) позволяет выявить наличие дефектов, а в отдельных случаях – место их расположения.

Принцип действия ИЧР основан на использовании воздействия электрических нестационарных процессов, сопровождающих разряды на электрический колебательный контур. Основными элементами ИЧР служат приемный колебательный контур или антенна, усилитель и измерительный прибор.

Алгоритм диагностирования состоит в следующем. На изоляцию подают повышенное напряжение. Приемным колебательным контуром или антенной ИЧР исследуют пространство вокруг изоляционной системы. При этом измерительный прибор ИЧР позволяет зафиксировать высокочастотные колебания и выявить место, где они имеют наибольший уровень. Обычно это место совпадает с местным дефектом. Известны схемы, в которых ИЧР подключают к испытательной цепи через разделительный конденсатор.

Определение местных дефектов изоляции по току сквозной проводимости. В исправной изоляции ее сопротивление сохраняет постоянное значение в большом диапазоне измерения испытательного напряжения. При появлении местных дефектов сопротивление снижается по мере увеличения напряжения. В зависимости от степени развития и характера неисправности изоляции снижение сопротивления начинается при различных напряжениях. Значит, ис-

правная изоляция имеет линейную, а неисправная – нелинейную вольт-амперную характеристику.

Отмеченная закономерность использована в способе диагностирования изоляции электродвигателей и трансформаторов по току утечки.

Изоляцию проверяют в следующей последовательности. Подключают через микроамперметр обмотку одной из фаз к регулируемому источнику переменного напряжения. Плавно увеличивают напряжение до 1200 В и записывают ток утечки I_1 . Затем повышают напряжение до 1800 В и записывают ток утечки I_2 . Аналогичные измерения проводят для остальных фаз. Когда нулевая точка обмотки недоступна, то к источнику подключают один из выводов обмотки, т. е. испытывают сразу изоляцию трех фаз.

Изоляцию считают исправной, если при повышении напряжения не наблюдают бросков тока; ток утечки при напряжении 1800 В не превышает 95 мкА для одной фазы (230 мкА для трех фаз); относительное приращение токов – не более 0,9; коэффициент несимметрии токов утечки фаз не превышает 1,8.

Определение износа изоляции по значению диэлектрических потерь. Из схемы замещения изоляции (см. рисунок 9.1, а) видно, что при подаче переменного напряжения U установившийся ток будет иметь две составляющие: I_a – активный ток, зависящий от сопротивления изоляции R_u и проводимости абсорбционной ветви $R_a C_a$; I_c – реактивный ток, зависящий в основном от реактивной проводимости абсорбционной ветви $R_a C_a$ и частично от C_c . Потребляемая мощность также будет иметь две составляющие, одна из которых – мощность диэлектрических потерь:

$$P = U I_c \operatorname{tg} \delta, \quad (9.4)$$

где $\operatorname{tg} \delta = I_a / I_c$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Диэлектрические потери зависят от вида диэлектрика и от его состояния. Тепловой износ, посторонние включения и влага ухудшают качество изоляции, что приводит к увеличению $\operatorname{tg} \delta$ по сравнению с новой изоляцией. Поэтому по значению $\operatorname{tg} \delta$ можно определить степень износа изоляции. Диагностирование изоляции по $\operatorname{tg} \delta$ используют для определения состояния в основном высоковольтного электрооборудования. Для измерения угла диэлектрических потерь применяют схему высоковольтного моста или схему с ваттметром. Последняя – проста и удобна, однако ее недостаток

в том, что получается меньшая точность измерений, чем при помощи схемы моста.

9.3. Определение теплового износа изоляции

При эксплуатации электрооборудования его изоляция подвергается воздействию рабочего напряжения, кратковременным перенапряжениям, механическим и тепловым нагрузкам, загрязнению, увлажнению и другим неблагоприятным воздействиям. В результате этого свойства изоляции непрерывно ухудшаются. Определяющим в общем износе изоляции является тепловой износ. При анализе эксплуатационных режимов особое значение приобретают методы расчета скорости теплового старения электрической изоляции и определения срока ее службы. Одним из главных показателей, характеризующих величину теплового износа изоляции, является ее сопротивление. Сопротивление изоляции уменьшается во время ее эксплуатации, что обусловлено необратимыми процессами, происходящими при воздействии внешних факторов на материал. Для оценки величины теплового старения изоляции необходимо применение расчетных формул, моделирующих внешние воздействия и их влияние. Чем больше факторов эксплуатации учитывает используемое уравнение, тем выше достоверность получаемых результатов. Однако в данном случае главной проблемой является получение исходной информации для расчетов, что требует значительного объема экспериментальных исследований.

Процессы теплового износа изоляции электрооборудования зависят от различных факторов эксплуатации. Основными факторами, учитываемыми в расчетах, являются условия окружающей среды: температура и относительная влажность воздуха, а также содержание в нем агрессивных соединений. Указанные факторы учитываются практически для всех видов электрооборудования (за исключением погружных электродвигателей). Кроме того, в силу специфики работы электрооборудования, для некоторых его видов (в частности, асинхронных электродвигателей) необходимо учитывать дополнительные факторы воздействия на изоляцию: длительные перегрузки и электродинамические силы.

К длительным перегрузкам относятся перегрузки в пределах рабочей части механической характеристики асинхронного электродвигателя, т. е. в пределах 1–1,8 номинального тока при номинальном напряжении. Исследованиями установлено, что длительные

перегрузки приводят к дополнительному, сверх номинального значения, тепловому износу изоляции обмоток двигателей.

Изоляция обмотки электрической машины в процессе эксплуатации может испытывать сжатие под действием электродинамических сил. В большинстве случаев указанные силы имеют циклический, знакопеременный характер, причем наиболее типичной является частота 100 Гц. Периодически при свертках (пуск и реверс электродвигателей, короткие замыкания в питаемых сетях) электродинамические силы увеличиваются в десятки раз вследствие увеличения токов в обмотках и квадратичной зависимости электродинамических сил от свертков.

Если даже принять, что статические нагрузки не приводят к очевидным изменениям структуры изоляции (хотя на самом деле это и имеет место), они все же способствуют ее старению. В соответствии с кинетической теорией прочности твердых тел разрушение материала можно рассматривать как постепенный термоактивационный процесс, в котором механическое напряжение представляет собой фактор, облегчающий и ускоряющий термическое разрушение. Кроме этого, циклические знакопеременные электродинамические силы приводят к вибрации обмоток, что также способствует механическому разрушению изоляции.

На процесс теплового износа оказывают влияние отклонение напряжения питания от номинального (у нагруженных электродвигателей при снижении напряжения резко увеличивается скорость теплового износа изоляции) и его асимметрия по фазам, а также ухудшение теплоотдачи.

В общем случае процесс теплового износа изоляции описывается следующим уравнением:

$$R_{II} = R_0 \times e^{B \times \left(\frac{1-x}{\theta_n} - \frac{1-x \cdot k^2}{\theta} \right) \times m^c \times n^n \times t}, \quad (9.5)$$

где R_{II} – сопротивление изоляции в момент времени t , МОм;

R_0 – начальное сопротивление изоляции, МОм;

θ_n – номинальная (базовая) температура изоляции, К;

θ – установившаяся (текущая) температура изоляции, К;

x – коэффициент, учитывающий влияние электродинамических сил;

k – коэффициент длительной перегрузки;

B – коэффициент, зависящий от нагреевостойкости изоляции;

m, n – коэффициенты, учитывающие условия среды;

c – относительная концентрация агрессивных веществ в воздухе;

η – относительная влажность воздуха.

Для погружных электродвигателей степень износа изоляции оценивается по величине тока утечки и тангенсу угла диэлектрических потерь.

Методика определения теплового износа изоляции базируется на использовании формулы (9.5) с коэффициентами, характерными для данного вида оборудования. В лабораторной работе по данной теме определяется тепловой износ изоляции и исследуется влияние на него факторов эксплуатации. Вид электрооборудования и коэффициенты формулы (9.5) принимаются в соответствии с заданием на курсовую работу. Для принятых исходных данных определяется сопротивление изоляции и процент его снижения:

$$\Delta R = \frac{R_0 - R_{и}}{R_0} \times 100. \quad (9.6)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Какова классификация электроизоляционных материалов по нагревостойкости?
2. Какие существуют основные методы диагностирования электрической изоляции?
3. Как определить увлажненность изоляции?
4. Перечислите методы определения состояния изоляции обмотки.
5. Как определяется тепловой износ изоляции?

Тема 10. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ

План

Виды и материалы контактных соединений. Определяющие диагностические параметры контактов. Вспомогательные диагностические параметры контактов. Приборы и методы измерений параметров контактов.

Электрическая цепь любого электрооборудования содержит различные элементы, которые соединены между собой при помощи электрических контактов. Например, в низковольтной сети на один трехфазный электроприемник в среднем приходится около 60 электрических контактов. От состояния любого из них зависит работоспособность всей электроустановки. Поэтому регулярный контроль электрических контактов – важная составная часть работ по обеспечению высокой надежности электрооборудования.

Электрическим контактом называют место перехода тока из одной токоведущей части в другую. По своему назначению контакты разделяют на *соединительные* и *коммутирующие*. Первые из них служат только для соединения различных элементов электрической цепи, а вторые предназначены для включения, отключения и переключения электрической цепи.

Известно большое число конструктивных исполнений контактов. Соединительные контакты разделяют на *разборные* (болтовые, винтовые, клиновые) и *неразборные* (сварные, паяные, клепаные и т. п.).

Коммутирующие контакты классифицируют по признаку подвижности (подвижные, неподвижные), по степени подвижности (самоустанавливающиеся, несамоустанавливающиеся), по геометрической форме (точечные, линейные, поверхностные), по виду охлаждения (естественное, искусственное), по назначению (главные, дугогасительные, дополнительные) и по другим признакам.

Разрывные контакты обеспечивают периодическое замыкание и размыкание электрической цепи. Требования к ним: устойчивость против коррозии, стойкость к свариванию и действию электрической коррозии, стойкость к действию сжимающих ударных нагрузок, высокие проводимость и теплофизические свойства, хорошая технологичность и способность прирабатываться друг к другу.

В качестве контактных материалов для слаботочных разрывных контактов используются металлы: вольфрам, молибден, золото, платина, серебро, а также различные сплавы на их основе.

Сильноточные разрывные контакты изготавливаются, как правило, из меди и серебра и их сплавов с добавлением вольфрама, никеля и т. д. Медная и серебряная фазы в этих композициях обеспечивают высокую электро- и теплопроводность контакта, а включение тугоплавкой фазы придает контактам стойкость к механическому износу, электрической эрозии и свариваемости.

Для изготовления сильноточных контактов, работающих при повышенных напряжениях и контактных давлениях, рекомендуется использовать твердую медь, что значительно удешевляет электро-техническое устройство.

Скользящие контакты должны дополнительно отличаться высокой стойкостью к истирающим нагрузкам, которые особенно велики при сухом трении.

Наиболее высокими качествами обладают контактные пары, составленные из металлического и графитосодержащего материалов.

Помимо низкого коэффициента трения графит и материалы на его основе отличаются большим напряжением дугообразования, поэтому износ контактов от искрения незначителен. Кроме того, на поверхности графита не образуются оксидные пленки, контакт имеет линейную вольт-амперную характеристику. Широкое применение для изготовления скользящих контактов нашли проводниковые бронзы, латуни, твердая медь и т. д.

Сплавы меди с оловом, кремнием, хромом и т. д. носят название бронз. Они (бронзы) имеют более высокие механические свойства, чем чистая медь.

Введение в медь кадмия значительно повышает механическую прочность и твердость (кадмиевая бронза).

Кадмиевую бронзу используют для изготовления контактных проводов, коллекторных пластин особо ответственного назначения. Еще большей механической прочностью обладает бериллиевая бронза.

Сплав меди с цинком – латунь – обладает достаточно высоким относительным удлинением перед разрывом при повышенном, по сравнению с чистой медью, пределе прочности при растяжении. Это дает латуни технологические преимущества перед медью при обработке штамповкой, глубокой вытяжкой и т. п.

Состояние контактов оценивают по определяющим или вспомогательным параметрам. К первым из них относят переходное со-

противление, падение напряжения и температуру нагрева контактов, а ко вторым – площадь соприкосновения, раствор, провал и усилие сжатия контактов.

Переходным сопротивлением контакта называют дополнительное сопротивление в месте перехода тока из одной контактной поверхности в другую, обусловленное, во-первых, сужением площади сечения контакта в неровностях поверхности, во-вторых, сопротивлением газовых и масляных пленок, а также пыли, адсорбированных поверхностью контакта.

Значение переходного сопротивления зависит от многих факторов, главные из которых – микрорельеф, усилие сжатия и материал контактной поверхности.

Переходное сопротивление электрического контакта, Ом:

$$R_n = \frac{K_1}{(0,1 F_k)^m} K_T, \quad (10.1)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от материала контактирующих деталей;

F_k – усилие сжатие контакта, Н;

m – показатель степени, зависящий от формы поверхностей контактирующих деталей: для контакта плоскость $m = 1$, для линейного контакта $m = 0,75$, а для контактов сфера – плоскость и сфера – сфера $m = 0,5$.

K_T – коэффициент, учитывающий температуру контакта;

$K_T = 1 + 0,67 \alpha (t - 20)$; α – температурный коэффициент сопротивления материала; $(^\circ\text{C})^{-1}$; t – температура контакта, $^\circ\text{C}$.

Для холодных контактов при температурах, близких к температуре окружающей среды, можно принять $K_T = 1$.

Значения коэффициента K_1 для материала контакта: алюминий–алюминий – 0,006; алюминий–латунь – 0,002; алюминий–медь – 0,001; алюминий–сталь – 0,044; латунь–латунь – 0,00067; латунь–медь – 0,0004; латунь–сталь – 0,003; медь–медь – 0,0004; олово–олово – 0,0005; серебро–серебро – 0,00006; сталь–сталь – 0,0076.

На рисунке 10.1 показана кривая зависимости переходного сопротивления R_k при увеличении усилия сжатия (контактного давления). Первоначально сопротивление резко снижается в связи с быстрым ростом числа точек и площадок соприкосновения. Дальнейшее увеличение давления приводит к замедленному снижению сопротивления, так как интенсивность деформации неровностей

материала снижается. Начиная с некоторого критического усилия нажатия, переходное сопротивление остается практически неизменным. При снятии контактного давления сопротивление R_2 контакта возрастет по кривой 2, которая идет несколько ниже кривой 1.

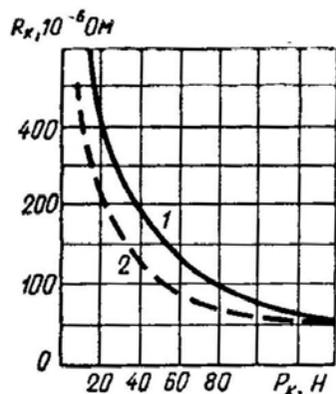


Рисунок 10.1 – Кривые переходного сопротивления контакта при увеличении 1 и уменьшении 2 усилия нажатия

Указанные явления используют при эксплуатации, во-первых, когда устанавливают диапазон нормативных усилий нажатия (в зависимости от материала – от 500 до 2500 Н/см²), во-вторых, когда до предела затянутые болтовые (винтовые) соединения несколько отпускают (переходят с кривой 1 на кривую 2). Допустимое падение напряжения на переходном сопротивлении контакта зависит, главным образом, от материала контакта. Его выбирают из условия отсутствия размягчения металла контактов, работающих в номинальном режиме. Для низковольтной аппаратуры установлены следующие допустимые падения напряжения на контакте: серебро – 0,01–0,02 В, медь – 0,01–0,03, алюминий – 0,01–0,04, железо – 0,02–0,05 В.

Сопротивление контактов не остается постоянным в процессе эксплуатации. Оно представляет собой источник дополнительных джоулевых потерь, поэтому температура контактной поверхности всегда выше температуры прилегающих проводников. Под действием кислорода это приводит к образованию на поверхности металла пленки, толщина которой с течением времени увеличивается, что ведет к росту переходного сопротивления и дополнительному нагреву. В некоторый момент времени под действием температуры

и электрического поля пленка разрушается, переходное сопротивление падает до первоначального значения. Затем процесс повторяется вновь и вновь. Но в некоторых случаях такое самоочищение не происходит, контакт может разогреться и выйти из строя.

Для надежной работы контактов необходимо строго соблюдать установленные нормы для температуры нагрева: коммутирующие контакты из меди без покрытия – 85 °С, с серебряным покрытием – 240 °С; соединительные контакты внутри аппаратов из меди – 95 °С, с покрытием благородными металлами – 105 °С, с серебряным покрытием – 135 °С (при расчетной температуре окружающей среды 45 °С).

Площадь соприкосновения контактов характеризует качество их настройки или степень износа. В исправном состоянии фактическая площадь соприкосновения составляет не менее 70 % от номинальной площади контакта.

Раствором контактов называют наибольшее расстояние l_p (рисунок 10.2, а) между поверхностями соприкосновения при разомкнутом состоянии контактов. В зависимости от типа аппарата, эта величина может быть от 3 до 50 мм.

Провалом контактов называют расстояние l_n (рисунок 10.2, б), на которое перемещается подвижный контакт, не теряя соприкосновения с неподвижным контактом, при размыкании или замыкании цепи. Для низковольтных аппаратов провал составляет 3–6 мм.

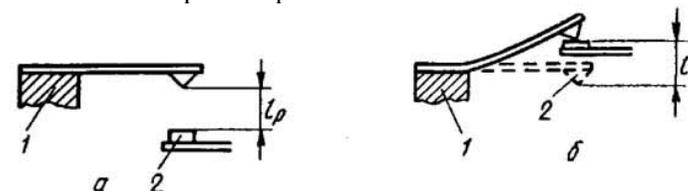


Рисунок 10.2 – К определению раствора (а) и провала (б) между неподвижным и подвижным контактами:

1 – неподвижный контакт (НК); 2 – подвижный контакт (ПК)

Переходное сопротивление контактов измеряют при постоянном или переменном токах. Для этого используют микрометры М-246, Ф-415, двойные мосты Р-3, F3-39 или применяют схемы с милливольтметром. У нового контакта переходное сопротивление не должно превышать сопротивления целого эквивалентного участка проводника в 1,2 раза. В процессе эксплуатации допускается уве-

личение сопротивления, но не более чем в 1,8 раза по сравнению с начальным значением.

Падение напряжения на переходном сопротивлении измеряют милливольтметром или гальванометром, пропуская через контакт номинальный постоянный ток. Для этого используют различные нагрузочные установки.

В исправном контакте отношение падения напряжения на нем к падению напряжения на целом эквивалентном участке не должно превышать 1,1–1,2. Если в процессе эксплуатации это отношение превысит 1,7, то необходим ремонт или замена контакта.

Диагностирование контактных систем низковольтных аппаратов

К контактным системам относится до 60 % всех отказов низковольтных аппаратов. В основном отказы возникают по причине механического и электрического износов рабочих поверхностей контактов, возникновения на них пленок, загрязнения, а также из-за потери упругих свойств контактных пружин, повреждения или старения изоляционных материалов между контактами.

Важным параметром контактных соединений является переходное сопротивление. Переходное сопротивление контактов аппаратов зависит от тока, характера нагрузки, силы сжатия контактов, материала контактов, среды, окружающей аппарат, и др. Зависимость сопротивления контактов, согласно теории Хольма и его последователей, можно записать следующим выражением:

$$R_k = \frac{\varepsilon}{P_k^m}, \quad (10.2)$$

а в соответствии с теорией Чельчина:

$$R_k = \frac{\varepsilon}{P_k^m} + k_0, \quad (10.3)$$

где ε – коэффициент, учитывающий физические свойства материала контактов и состояние контактной поверхности; P_k – статическое нажатие контактов; m – коэффициент формы контактов (0,3 – 1); k_0 – коэффициент, учитывающий сопротивление тела контактов или до-

полнительное сопротивление, создаваемое пленками на поверхности контактов.

От тока и сопротивления зависит рабочая температура контактов. На практике для контроля контактных соединений измеряют падение напряжения при прохождении через контакты постоянного тока от источника питания с напряжением 2–5 В. При измерении сопротивления испытательный ток должен быть равным номинальному току.

Потери напряжения на контактах не должны превышать следующие значения: у магнитных пускателей и автоматических выключателей при номинальном токе выше 50 А — 70 мВ, у автоматических выключателей с номинальным током менее 50 А — 110 мВ, у аппаратов со скользящими контактами (рубильники, пакетные выключатели) — 10–20 мВ. Потери напряжения на контактах магнитных пускателей 5 и 6 габаритов и автоматических выключателей с номинальными токами, не превышающими 200 А, обычно измеряют при пропускании через контакты тока, составляющего не менее 20 % номинального.

Для сравнения с допустимыми значениями измеренные потери напряжения необходимо пересчитать для приведения их к номинальному значению тока аппарата по формуле:

$$\Delta U_H = \frac{\Delta U_u I_H}{I_H}, \quad (10.4)$$

где ΔU_H — потери напряжения, приведенные к номинальному току аппарата, мВ; ΔU_u — измеренные потери напряжения, мВ; I_H — номинальный ток аппарата, А; I_u — ток, при котором измерялись потери напряжения, А.

Результаты наблюдений за состоянием низковольтных аппаратов показывают, что одной из основных причин отказов является износ контактов. Он приводит к уменьшению толщины контакта или контактной напайки и к потере формы поверхности контактирования. Уменьшение толщины контактов вызывает ослабление силы сжатия контактов, в связи с чем ухудшаются условия контактирования и повышается температура контактов.

Наиболее важным параметром, характеризующим износ контактов низковольтных аппаратов, является провал контактов. Провал контактов равен ходу подвижной системы аппарата с момента замыкания контактов до момента замыкания магнитной системы. В

процессе эксплуатации аппаратов при износе контактов провалы уменьшаются. Исследования и опыт эксплуатации показывают, что между значением провала контактов и наработкой имеется корреляционная связь. Зависимости величин провалов контактов магнитных пускателей от наработки с определенной степенью точности в заданный момент времени можно вычислить по выражению:

$$P_k = P_0 - v t, \quad (10.5)$$

где P_0 — начальное значение провала, мм; v — скорость изменения провала, мм/тыс. ч или мм/тыс. циклов; t — наработка, тыс. ч или тыс. циклов.

В магнитных пускателях провалы контактов определяют в замкнутом положении по перемещению поводка, на котором закреплен контактный мостик, от начала до полного замыкания контактов. Ранее провалы проверялись щупами, толщина которых равнялась допустимым значениям провалов.

Момент начала замыкания контактов обычно определяют по загоранию лампочки, включенной последовательно с батареей и контактами.

Провалы магнитных пускателей должны отвечать данным, приведенным в таблице 10.1. Провалы контактов автоматических выключателей проверяют штангенциркулем и набором щупов № 5. Контакты автоматических выключателей выбраковывают, если провалы контактов составляют менее 0,5 мм. При необходимости провалы автоматических выключателей регулируют согласно данным, приведенным в таблице 10.2.

Важным параметром для технического состояния контактной системы низковольтных аппаратов является нажатие контактов. Уменьшение величины нажатия контактов в процессе эксплуатации свидетельствует как об износе контактов, так и о состоянии контактных пружин.

Измерения показывают, что уменьшению провала контактов, характеризующего величину их износа, обязательно сопутствует уменьшение конечного нажатия, что также способствует увеличению скорости износа контактов. Уменьшение провала контактов на небольшую величину при значительном уменьшении конечного нажатия указывает на потерю упругих свойств контактных пружин.

Работоспособность контактов магнитных пускателей, автоматических выключателей и реле зависит и от усилия нажатия контактов. Поэтому в процессе эксплуатации периодически определяют и,

при необходимости, регулируют усилия начального и конечного нажатия контактов. Усилия нажатия контактов измеряют следующим образом. Последовательно с контактами включают лампочку с батареей для точного определения момента размыкания контактов. Подвижный контакт с помощью специальной подвески, закрепленной на крюке динамометра, медленно оттягивают до момента, когда погаснет лампочка, указывающая на размыкание контактов. В момент размыкания по шкале динамометра определяют усилие нажатия, которое должно отвечать данным таблицы 10.1.

При измерении линия приложения усилия должна быть перпендикулярной к плоскостям контактов. Начальное нажатие регулируют подкладыванием шайб под контактную пружину. Если таким образом нажатие отрегулировать нельзя, пружину заменяют новой. При определении конечного нажатия контактов на катушку магнитного пускателя подают номинальное напряжение и оттягивают подвижный контакт с помощью подвески и динамометра. В момент размыкания контактов по шкале динамометра определяют усилие конечного нажатия контактов, которое также должно отвечать данным, приведенным в таблице 10.1. Усилие конечного нажатия регулируется так же, как и начального.

У автоматических выключателей усилие конечного нажатия контактов измеряют во включенном положении выключателей аналогично измерению его в магнитных пускателях. Усилие нажатия контактов автоматических выключателей должно соответствовать данным, приведенным в таблице 10.2. При необходимости нажатия контактов регулируют.

В связи с тем, что при измерении провалов и нажатий магнитных пускателей с требуемой точностью возникли определенные трудности, для диагностирования контактных систем магнитных пускателей разработали специальные приспособления.

Таблица 10.1 – Данные для проверки состояния контактных систем магнитных пускателей

Параметры	ПМЕ-000	ПМЕ-100	ПМЕ-200	П-6	ПА-300	ПА-400	ПА-500	ПА-600
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Раствор главных контактов	2,8	2,5	3	3 ^{+0,7} _{+0,5}	3	3	4	4
Провал главных контактов, мм	2±0,4	2,5±0,5	3±0,5	2,4±0,5	2,2±0,3	3±0,5	4±0,5	4±0,5
Раствор блок-контактов (не менее), мм	2,8	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Провал блок-контактов, мм	2±0,4	2,5±0,5	2,5±0,5	2,2±0,5	2,5±0,5	2,5±0,5	2,5±0,5	2,5±0,5
Нажатие пружины главных контактов, кгс:								
начальное	-	-	-	-	0,60	1,3	2,3±0,25	3,4±
конечное	0,11	0,2	0,45	0,27	±0,03	±0,13	3,28±0,33	0,17
Нажатие возвратной пружины, кгс:								
начальное	-	-	-	-	0,65	1,1±	1,65	2,8±
конечное	-	-	-	-	±0,03	0,1	±0,16	0,19
Нажатие возвратной пружины блок- контактов, *кгс :								
начальное	-	-	-	-	0,23	0,23±	0,23	±0,012
конечное	0,1	0,2	0,2	0,27	±0,01	0,012	±0,012	0,4±
Нажатие контактной пружины блок- контактов, кгс:								
начальное	-	-	-	-	0,11	0,115	0,115±	0,115±
конечное	0,1	0,2	0,2	0,27	±0,06	0,161±	0,161	0,161
					0,06	0,008	±0,008	±0,008

*При переводе килограмм-силы в ньютоны необходимо приведенные значения умножить на 0,80665.

Таблица 10.2 – Данные для регулирования автоматических выключателей серии А3100

Параметр	А3110	А3120	А3130	А3140
Провал контактов У, У1, У2, не менее, мм	2	2,5	2	2
Нажатие главных контактов Р1, не менее, кгс*	0,8	1,8	4	8
Нажатие разрывных контактов Р2, не менее, кгс*	-	-	-	5
Опережение замыкания разрывных контактов, не менее, мм	-	-	-	2
Неодновременность замыкания контактов, не более, мм	0-0,1	1-0,5	0-0,5	0-0,8
Отклонение тока срабатывания электромагнитного элемента от номинальной уставки, не более, %		15		
Отклонение тока срабатывания теплового элемента от номинальной уставки, не более, %		12		
Напряжение четкого срабатывания дистанционного расцепителя (% к номинальному)		75-105		

*При переводе килограмм-силы в ньютоны необходимо приведенные значения умножить на 9,80665.

10.1. Контроль напряжения втягивания и отпускания якорей магнитных пускателей

Перед контролем напряжения втягивания и отпускания якоря проверяют работу подвижной части пускателя включением от руки, а затем – при подаче на катушку номинального напряжения. При включении от руки подвижная система пускателя должна свободно перемещаться, а при подаче напряжения на катушку – немедленно включаться, без задержек в промежуточных положениях. Для определения напряжения втягивания и отпускания якорей магнитных пускателей вначале на их катушки подают напряжение, равное 80 % номинального. Магнитный пускатель должен четко включаться без остановок или заметных задержек подвижной системы. При напряжении, равном 80 % номинального, допускается умеренный шум магнитной системы, который не должен переходить в дребезжание. Увеличение напряжения втягивания выше 85 % обычно свидетельствует об увеличении воздушного зазора между якорем и сердечником (при количестве витков в катушке согласно паспортным данным).

Для проверки напряжения отпускания якоря на зажимы катушки подают номинальное напряжение, а затем плавно его снижают и измеряют в момент отпускания якоря. Напряжение отпускания должно составлять не более 70 % номинального. Кроме того, проверяют включение пускателя при пониженном напряжении, равном 60 % номинального. Катушка не должна включать пускатель при этом и меньшем напряжении.

Измерение напряжения втягивания, отпускания и проверку включения пускателя при пониженном напряжении можно проводить с помощью автотрансформатора типа ЛАТР или РНО, повышающего трансформатора и вольтметра типа Э-59, с пределами измерений 75-150-300-600 В. Для регулирования напряжения при измерениях можно также использовать высокоомный реостат, включенный по схеме делителя напряжения.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите виды и материалы контактных соединений.
2. Что такое определяющие параметры контактов?
3. Назовите вспомогательные диагностические параметры контактов.
4. Какие существуют приборы и методы измерения параметров контактов?
5. Как проводится диагностирование контактных систем низковольтных аппаратов?

Тема 11. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОПОР ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

План

Классификация опор и заземляющих устройств. Факторы их эксплуатации и особенности износа. Диагностирование деревянных, металлических и железобетонных опор. Диагностирование заземляющих устройств.

Воздушные линии

Основными компонентами воздушных линий (ВЛ) служат провода, опоры, изоляторы, линейная арматура.

Опоры поддерживают провода на необходимом расстоянии от поверхности земли, проводов других линий, крыш зданий и т. п. Они делятся на два основных вида: **анкерные**, полностью воспринимающие тяжение проводов в смежных с опорой пролетах; **промежуточные**, невоспринимающие или частично воспринимающие тяжение проводов. На базе анкерных опор могут выполняться угловые и концевые опоры.

Типы опор для различных условий прокладки приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Типы опор, применяемых для прокладки ВЛ

Наименование	Условия установки
1	2
Промежуточные	Прямые участки воздушных линий. В нормальных условиях не должны подвергаться усилиям, направленным вдоль линий
Анкерные	При изменении марки, сечения или количества проводов на прямых участках линий
Угловые промежуточные	При повороте трассы на угол 60°
Угловые анкерные	При повороте трассы на угол от 60 до 90°
Перекрестные	При скрещивании двух направлений ВЛ
Ответвительные	При ответвлении ВЛ от основной магистрали, без изменения количества проводов

Окончание таблицы 11.1

1	2
Ответвительные анкерные	При ответвлении от основной магистрали, с изменением количества и сечения проводов
Ответвительные угловые	При повороте трассы на угол до 90° с ответвлением от основной магистрали
Переходные промежуточные	При пересечении ВЛ с автомобильными дорогами II – V категорий, небольшими реками, каналами и др.
Переходные анкерные	При пересечении ВЛ с линиями связи, автомобильными дорогами I категории на прямых участках ВЛ
Переходные угловые	При пересечении ВЛ с инженерными сооружениями и поворотом трассы на угол до 60°
Переходные ответвительные	При пересечении с препятствиями в направлении ответвления
Концевые	В начале и конце ВЛ

Для ВЛ сельских сетей напряжением 0,38–35 кВ, как правило, применяют следующие виды опор: деревянные, железобетонные с деревянными стойками и железобетонными приставками, с деревянными стойками и деревянными приставками. Предпочтительнее опоры с железобетонными приставками. Редко применяют металлические опоры.

Древесина для опор должна быть пропитана антисептическим составом в заводских условиях. Допускается их изготовление из непропитанной лиственницы, влажностью не более 25 %.

Для основных элементов опор (стоек, подкосов, траверс) диаметр бревен в верхнем отрубе должен быть не менее 16 см (для ВЛ 6–35 кВ) и 14 см (для ВЛ 0,38 кВ). Диаметр приставок опор ВЛ 6–35 кВ принимается не менее 18 см, а для опор 0,38 кВ – не менее 14 см. Для вспомогательных элементов опор ВЛ 6–35 кВ диаметр бревен в верхнем отрубе должен быть не менее 14 см, а для ВЛ 0,38 кВ – не менее 12 см.

Бандажи для сопряжения приставок со стойкой должны выполняться из мягкой стальной оцинкованной проволоки диаметром не менее 4 мм. Допускается использование неоцинкованной проволоки диамет-

ром 5–6 мм, покрытой асфальтовым лаком. Число витков бандажа при диаметре 4 мм – 12; диаметре 5 мм – 10, диаметре 6 мм – 8.

На ВЛ 0,38 кВ применяют промежуточные (ПН), перекрестные (ПКН), промежуточные повышенные (ППН), анкерные концевые (АКП), угловые анкерные (УАН), угловые промежуточные (УПН) и ответвительные (ОАН) опоры.

Марка опоры расшифровывается следующим образом: первые две или три буквы – вид опоры, цифра – типоразмер, последние буквы – материал опоры. Например, УПН-3ДД – угловая промежуточная нормальная опора третьего типоразмера, деревянная, на деревянной приставке.

Для нормальных опор из цельных бревен применяются стойки длиной 9,5 и 11 м, а для составных – 9,5; 7,5 и 6,5 м – в сочетании с железобетонными приставками длиной 3,5 и 4,5 м. Для повышенных целостностоечных опор используются бревна длиной 11 м, а для составных – 8,5 и 9,5 м, в сочетании с железобетонными приставками длиной 4,25 м.

Для ВЛ 380/220 В применяются опоры для 5–8 и 8–12 проводов, а также для освещения населенных пунктов, совместной подвески ВЛ 0,38 и 6–10 кВ и совместной подвески проводов ВЛ и радиотрансляционной сети.

Заземляющим устройством называется совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

Заземлителем называется проводник (электрод) или совокупность металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в соприкосновении с землей.

Искусственным заземлителем называется заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Естественным заземлителем называются находящиеся в соприкосновении с землей электропроводящие части коммуникаций, зданий и сооружений производственного или иного назначения, используемые для целей заземления.

Магистралью заземления или зануления называется соответственно заземляющий или нулевой защитный проводник с двумя или более ответвлениями.

Заземляющим проводником называется проводник, соединяющий заземляемые части с заземлителем.

Нулевым защитным проводником в электроустановках напряжением до 1 кВ называется проводник, соединяющий зануляемые части с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформа-

тора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока.

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью нулевой рабочий проводник может выполнять функции нулевого защитного проводника.

Техническое обслуживание ВЛ осуществляется в виде осмотров. Осмотр – это своего рода визуальная диагностика. При эксплуатации ВЛ проводятся их периодические и внеочередные осмотры. Графики периодических осмотров осуществляет лицо, ответственное за электрохозяйство. Периодичность осмотров – не реже 1 раза в 6 месяцев (по ППРЭСх – 1 раз в месяц). Верховые осмотры проводятся по мере необходимости, а для ВЛ 35 кВ и выше – не менее 1 раза в 6 лет. Внеочередные осмотры ВЛ производят при наступлении ледохода и разлива рек, пожарах в зоне трассы, после сильных бурь, ураганов, морозов и других стихийных бедствий. При осмотрах линий и вводов электромонтеры должны обращать внимание на следующее:

- наличие ожогов, трещин и боя изоляторов, обрывов и оплавления жил проводов, целостность вязок, регулировку проводов;
- состояние опор и крен их вдоль или поперек линий, целостность бандажей и заземляющих устройств, наличие нумерации и плакатов безопасности;
- состояние соединений, наличие набросов и касания проводами ветвей деревьев;
- состояние вводных ответвлений и предохранителей;
- состояние концевых кабельных муфт и спусков;
- состояние трассы.

При осмотрах следует подтягивать бандажи, подкручивать гайки, болтовые соединения бандажей без подъема на опору, восстанавливать нумерацию опор и т. п. Повреждения и неисправности аварийного характера необходимо устранять немедленно.

ИТР должны проводить выборочные контрольные осмотры 1 раз в год для оценки состояния элементов трассы ВЛ, проверки противоаварийных и других мероприятий в целях контроля работы персонала, обслуживающего ВЛ.

Дефекты, обнаруженные при осмотре ВЛ и профилактических проверках и измерениях, отмечают в журнале (карточке) дефектов и, в зависимости от их характера, устраняют немедленно, либо во

время планового (непланового) технического обслуживания или капитального ремонта ВЛ.

Ночные осмотры проводят в темное время суток с целью определения неисправных осветительных приборов, возможных пробоев и утечек тока, локальных перегревов.

Проверка состояния деревянных опор. Один из основных недостатков деревянных опор – их подверженность загниванию. Загнивание древесины быстро развивается при влажности 30–60 % в подземной части приставок, торцах деталей опор и местах сопряжения деталей, где долго задерживается влага. Степень загнивания древесины опоры определяют на глубине 30–40 см ниже уровня земли, на уровне земли, верхних бандажей, в местах закрепления раскосов.

По глубине и характеру распространения загнивания находят эквивалентный диаметр оставшейся здоровой части древесины и решают вопрос о необходимости замены той или иной части опоры.

Внешним осмотром выявляют поверхностные очаги загнивания, трещины. При простукивании молотком (массой не более 0,4 кг) по звуку определяют наличие внутреннего загнивания. Глубину загнивания измеряют при помощи специальных пружинных приборов (например, ПД-1), щупов или буравчиков. Для этого в древесину погружают иглу и по прибору замеряют усилие прокалывания. Границу здоровой древесины фиксируют по резкому изменению усилия прокалывания. Загнивающие участки измеряют в трех точках по окружности. Среднюю глубину поверхностного загнивания в каждом сечении находят как среднее арифметическое результатов измерения, после чего определяют диаметр здоровой части древесины (эквивалентный диаметр). Опору бракуют, если диаметр здоровой части древесины меньше допустимого предела, найденного расчетом, на механическую прочность. При эквивалентном диаметре больше расчетного на 2–4 см участок опоры, находящейся в эксплуатации, проверяют ежегодно, а при большем диаметре – каждые 3 года.

При наличии крупных сучков и сквозных трещин, ослабляющих древесину, при определении эквивалентного диаметра вносят поправку, уменьшающую диаметр на 1–2 см.

Определение степени загнивания деталей деревянных опор

Основная причина повреждений деревянных опор состоит в подверженности их загниванию, т. е. заражению древесины гнилостными грибами, распространяющимися подобно семенам цветочных растений и вызывающими распад и разрушение клеток древесины. Наиболее интенсивно распространяется загнивание при температуре 20–35 °С, при влажности 20–60 % и наличии воздуха. Сухая или погруженная в воду древесина не загнивает.

Определение степени загнивания деталей деревянных опор проводится раз в 5 лет [17] и заключается в установлении места и степени загнивания древесины и сравнении эквивалентного диаметра ее здоровой части с допустимым d_d (12 см — для стоек и 10 см — для траверс линий до 35 кВ). Величина d_d при наличии загнивания находится умножением наружного диаметра детали на коэффициент износа c , принимаемый равным: 0,75 — для траверс опор всех типов, стоек и приставок одностоечных опор; 0,7 — для стоек и приставок П- и А-образных опор; 0,65 — для прочих деталей опор. Если опоры установлены в населенной местности или на пересечениях с инженерными сооружениями, то коэффициент c увеличивается в 1,2 раза.

$$d_d = c \times d. \quad (11.1)$$

Наличие загнивания устанавливают в сухую и неморозную погоду, при положительной температуре, путем простукивания древесины молотком по всей длине опоры (стойки, траверсы и т. д.). Пасынки проверяют, откапывая их на глубину 0,5–0,6 м. В местах загнивания звук при ударах получается глухим.

Для определения степени загнивания используются приборы, принцип действия которых основан или на измерении усилия, с которым игла прокалывает древесину (в загнившую древесину игла проникает с усилием менее 300 Н), или на определении механической прочности древесины (условного сопротивления древесины смятию) при ввертывании буравчика. Кроме того, для выполнения неразрушающего контроля состояния древесины, особенно перед подъемом электромонтеров на опору для производства работ, а также для выявления внутреннего загнивания древесины в последнее время применяется прибор, называемый **определителем загнивания древесины**. Этот прибор работает на основе фиксации измерения ультразвуковых колебаний при прохождении через древесину. В здоровой древесине ультразвуковые колебания распро-

страняются практически без затухания, а в загнившей происходит частичное поглощение колебаний.

Глубину наружного загнивания пасынков и стоек измеряют с трех сторон под углом примерно 120°, а траверс — с двух сторон (сверху и снизу). Среднее значение глубины загнивания для пасынков и стоек:

$$b_{cp} = \frac{1}{3} (b_1 + b_2 + b_3), \quad (11.2)$$

где b_1, b_2, b_3 — глубина загнивания по результатам трех измерений.

Среднее значение глубины загнивания для траверс:

$$b_{cp} = \frac{1}{2} (b_1 + b_2). \quad (11.3)$$

Отбраковка загнивших деталей заключается в определении эквивалентного диаметра равнопрочного сечения здоровой части $d_{зд}$ и сравнении его с допустимым диаметром d_d , т. е.:

$$d_{зд} = d - 2b_{cp} \geq d_d, \quad (11.4)$$

где d — наружный диаметр детали опоры в месте загнивания (измерения).

При внутреннем загнивании необходимо определить диаметр внутренней загнившей части:

$$d_{вн} = d - 2\delta_{cp}, \quad (11.5)$$

где δ_{cp} — средняя глубина не загнившей части древесины, получаемая по результатам трех измерений ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$):

$$\delta_{cp} = \frac{1}{3} (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3). \quad (11.6)$$

Тогда:

$$d_{зд} = \sqrt[3]{\frac{d^4 - d_{cp}^4}{d}} \geq d_d. \quad (11.7)$$

Если эквивалентный диаметр больше минимального диаметра на 2–4 см, то детали опоры проверяют более часто, так как считается, что процесс загнивания начался и скорость его равна примерно 1 см в год.

Для упрощения пользования формулой (11.7) построены соответствующие номограммы. В связи с тем, что в Республике Беларусь деревянные опоры сохранились лишь на отдельных линиях напряжением 0,38 кВ, приводить отмеченные номограммы не представляется целесообразным.

Измерение сопротивления заземления опор

Измерение сопротивления заземления опор производится раз в 5 лет [1, 2] на всех опорах с разрядниками и защитными промежутками, на опорах с электрооборудованием. На остальных опорах измерение производится выборочно, у 2 % общего числа опор с заземлителями в населенной местности и на участке с наиболее агрессивными или плохо проводящими грунтами.

Сопротивление заземляющих устройств зависит от удельного сопротивления грунта. Сопротивление заземляющих устройств железобетонных и металлических опор в сети с изолированной нейтралью должно быть не выше 50 Ом.

Измерение сопротивления заземляющих устройств воздушных линий напряжением до 1000 В производится на всех опорах с заземлителями грозозащиты и повторными заземлителями нулевого провода. У остальных железобетонных и металлических опор измерение производится выборочно, у 2 % общего числа опор.

Измерение сопротивления заземляющих устройств производится в сухую погоду, в периоды наибольшего просыхания грунта, с помощью специальных приборов, называемых *измерителями сопротивления заземления* (ИСЗ). Измерение сопротивления заземляющих устройств может выполняться со снятием или без снятия напряжения с линии, с предварительным отсоединением подвешенного без изоляторов грозозащитного троса от тела опоры.

Для измерения сопротивления заземляющих устройств на линиях напряжением 110 кВ и выше без снятия напряжения и без отсоединения грозозащитного троса от тела опоры разработаны специальные приборы.

Проверка состояния железобетонных опор и приставок

В процессе изготовления, транспортирования и эксплуатации в железобетонных опорах и приставках могут образоваться трещины. Незначительные трещины неопасны, а в большие может

проникать влага, что приводит к коррозии арматуры и резкому снижению механической прочности опоры.

Проверку состояния железобетонных опор и приставок осуществляют внешним осмотром не реже 1 раза в 6 лет. При этом обращают внимание на наличие раковин, сколов и трещин. Особое внимание уделяют зоне «земля – воздух», где могут образоваться повреждения, вызванные механическими нагрузками или в результате протекания токов замыкания на землю при пробое изолятора. Измерение ширины раскрытия трещин производится специальным щупом, а размеров сколов и раковин – стальной линейкой. Укрытие трещин в опорах с ненапряженной арматурой допускается до 0,2 мм, их количество не должно быть более 6 на 1 м длины опоры. Для опор, изготовленных с применением предварительно напряженной арматуры, раскрытие трещин не допускается.

Толщина защитного слоя бетона должна быть не менее 10 мм. Для определения толщины защитного слоя и смещения каркаса арматуры пользуются прибором контроля арматуры ПКА-1М или АИ-15. Визуально проверяют положение, крепление и состояние антикоррозийного покрытия траверс и оттяжек.

Одновременно с проверкой состояния железобетонных приставок проверяют их крепление со стойкой опоры (проволочные бандажи, хомуты). Наклоны сверх нормируемых значений стоек опор от вертикали вдоль и поперек оси ВЛ не допускаются.

Диагностирование железобетонных опор ультразвуковыми и ударными методами

Ультразвуковой дефектоскоп для бетона/камня А1220 предназначен для поиска инородных включений, пустот и трещин внутри изделий и конструкций из железобетона, камня, пластмасс и подобных им материалов при одностороннем доступе к объекту контроля.

Дефектоскоп можно использовать для измерений толщины изделий, для исследования внутренней структуры вышеперечисленных материалов и оценки их прочности сквозным прозвучиванием.

Дефектоскоп А1220 состоит из электронного блока с экраном и клавиатурой и 24-элементного (6x4) матричного антенного устройства (АУ). Конструкция элементов АУ прибора обеспечивает проведение контроля без контактной жидкости, т. е. с сухим точечным контактом. Элементы АУ подпружинены и дают возможность измерений на криволинейных и шероховатых поверхностях. Для сквозного прозвучивания используются дополнительные ультра-

звуковые преобразователи продольных и поперечных ультразвуковых волн.

Таблица 11.2 – Технические характеристики А1220

Наименование параметра	Значение
1	2
Длительность развертки (задается с клавиатуры)	150; 375; 750; 1500
Минимальный размер выявленного дефекта в виде воздушного цилиндра, мм	12
Погрешность измерения глубины залегания дефекта, %	± 10
Максимальная измеряемая толщина бетона, мм	600
Номинальные рабочие частоты ультразвука, кГц	33; 55; 70; 100; 125; 170; 250
Продолжительность непрерывной работы от элементов питания, ч, не менее	40
Габаритные размеры электронного блока, мм	234 × 98 × 33
Габаритные размеры антенного устройства, мм	145 × 90 × 75
Вес электронного блока, г	800
Вес антенного устройства, г	760
Рабочая температура, °С	минус 20 – 45

Измеритель прочности бетона/стройматериалов ИПС-МГ4

Микропроцессорный прибор ИПС-МГ4 предназначен для оперативного и лабораторного контроля прочности и однородности бетона, раствора, кирпича, методом ударного импульса.

В приборе предусмотрена возможность установления 16 индивидуальных градуировочных зависимостей, обеспечивающих определение прочности легких и тяжелых бетонов, раствора, имеющих кубиковую прочность от 3 до 100 МПа, с погрешностью не более 10 %.

Измерение прочности бетона заключается в нанесении до 15 ударов на контролируемом участке изделия серии. Электронный блок по параметрам ударного импульса, поступающим от склерометра, оценивает твердость и упругопластические свойства испытуемого материала, преобразует параметр импульса в прочность, индицируя ее на дисплее прибора в МПа.

Алгоритм обработки результатов измерений включает:

- усреднение единичных значений;
- сравнение каждого единичного значения со средним, с последующей отбраковкой единичных значений, имеющих отклонения от среднего, более допустимого;
- усреднение оставшихся после отбраковки единичных значений;
- индикация и запись в память конечного значения прочности.

ИПС-МГ4 имеет режим записной книжки (255 ячеек), позволяющий «пролистать» значения прочности предыдущих изделий. При отключении питания информация в памяти сохраняется. Все приборы оснащены стандартным интерфейсом RS-232 для связи с компьютером, что значительно расширяет их возможности по созданию отчетности.

Измеритель прочности бетона/стройматериалов ИПС-МГ4+

Микропроцессорный прибор ИПС-МГ4+ предназначен для оперативного и лабораторного контроля прочности и однородности бетона, раствора, кирпича, методом ударного импульса.

Обладея всеми достоинствами предшественника (ИПС-МГ4), прибор имеет расширенный режим, в котором оператор может установить более 100 зависимостей, учитывая материал, условия твердения бетона, возраст бетона. Кроме того, в приборе имеется возможность установления еще двух индивидуальных градуировочных зависимостей.

ИПС-МГ4+ имеет режим записной книжки (1000 ячеек) с фиксацией даты замера, при отключении питания информация в памяти сохраняется. Все приборы оснащены стандартным интерфейсом RS-232 для связи с компьютером, что значительно расширяет их возможности по созданию отчетности.

Таблица 11.3 – Технические характеристики ИПС-МГ4+

Наименование параметра	Значение
Диапазон измерения прочности, МПа	3 – 100
Предел погрешности измерения прочности, %, не более	10
Время одного цикла измерения, с	15 – 30
Габаритные размеры, мм	175 × 90 × 30
Вес с датчиком, кг	1,1
Рабочая температура, °С	минус 10 – 40

Металлические опоры чаще всего диагностируют ультразвуком.

Ультразвуковой дефектоскоп для металлов А1212

Прибор предназначен для поиска и определения координат различных нарушений сплошности и однородности материала в изделиях из металлов и пластмасс при шероховатости поверхностей до Rz200. Он позволяет контролировать сварные швы, измерять толщины стенок изделий, вести поиск мест коррозии, трещин, внутренних расслоений и других дефектов.

Прибор отображает принятые сигналы в виде традиционной А-развертки с градуировкой горизонтальной оси в миллиметрах или микросекундах. Изображение на экране можно остановить («заморозить»), выбранную зону контроля развернуть на весь экран, с помощью экранных курсоров произвести измерения уровня и координат принятых сигналов. При работе с автоматическим сигнализатором дефектов уровень сигнала и координаты дефекта определяются прибором автоматически. Кроме того, в приборе есть режим построения изображения сечения контролируемого объекта (В-развертка).

Таблица 11.4 – Технические данные А1212

Наименование параметра	Значение
1	2
Номинальные рабочие частоты ультразвука, МГц	1,0; 1,2; 1,8; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0
Максимальная толщина материалов, контролируемых эхо-методом, мм	220
Диапазон измерений интервалов времени задержки сигнала, мкс	1 – 750
Длительность развертки (задается с клавиатуры)	7,5; 15; 37,5; 75; 150; 375; 750
Диапазон настройки на скорость ультразвука в материале, м/с	1000 – 9999
Полоса частот приемного тракта, МГц	0,5 – 15
Диапазон перестройки аттенуатора, дБ	0 – 60 (с шагом 1)
Количество конфигураций в библиотеке настроек	15

Окончание таблицы	
1	2
Число хранимых изображений экрана	не менее 200
Диапазон настройки на скорость ультразвука в материале, м/с	1000 – 9999
Продолжительность непрерывной работы от одного комплекта элементов питания, ч	
- с подсветкой экрана	15
- без подсветки экрана	40
Габаритные размеры электронного блока, мм	235 × 98 × 33
Вес электронного блока, г	800
Рабочая температура, °С	минус 20 – 45

Прибор рассчитан на использование стандартных методик и методов ультразвукового контроля. Совместим с широким спектром преобразователей (совмещенными, отдельными, раздельносовмещенными, в т. ч. прямыми и наклонными, отечественного и зарубежного производства, с рабочими частотами от 1 до 15 МГц).

Комплект поставки: блок электронный, 5 преобразователей, 2 кабеля, 4 элемента питания типа АА, сумка, эксплуатационная документация. Результаты диагностирования опор заносятся в таблицу 11.5. На основании этих результатов проводится анализ и делается вывод о состоянии опор.

Таблица 11.5 – Диагностирование опор ВЛ

Вид осмотра	Дата и время	Номер опоры	Название дефекта и его описание	Число дефектов на 1 м опоры

Проверка заземляющих устройств

Измерение сопротивления заземлителей обычно делается с помощью специального измерителя заземлений Ф-4103 или М-416, МС-08 или измерителем кажущегося сопротивления ИКС-1, а если измеритель отсутствует, то с помощью амперметра и вольтметра методом «трех земель».

Прибор Ф-4103 (рисунок 11.1) представляет собой четырехзажимный омметр прямого преобразования с автономным питанием от 9-и сухих элементов напряжением 1,5 В (А 373), которые вставляются в отсек питания прибора, или от внешнего источника питания напряжением 11,5–16,5 В. Этот прибор позволяет измерять не только сопротивление заземления, но и напряжения прикосновения и шага, а также удельное сопротивление земли при температуре воздуха от $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Он содержит генератор стабилизированного измерительного тока частотой 280 Гц и избирательный вольтметр, выполненные на микросхемах и других электронных компонентах. Прибор имеет 8 диапазонов измерений: от 0–0,3 до 0–1000 Ом, а модификация Ф-4103М – еще и диапазоны 3000 и 15 000 Ом.

Схема измерения сопротивления заземлителей с помощью прибора Ф-4103 представлена на рисунке 11.1.

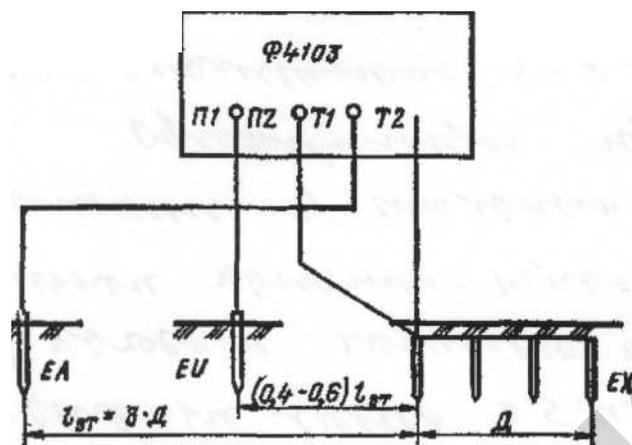


Рисунок 11.1 – Схема присоединения прибора Ф-4103 к проверяемому ЕХ, потенциальному ЕУ и вспомогательному токовому ЕА электродам

При проверке заземляющих устройств выборочно вскрывают грунт, определяют глубину заложения устройства (не менее 0,5 м, а на пахотной земле – 1 м) и габаритные размеры стальных заземлителей и заземляющих проводников. Диаметр круглых заземлителей и заземляющих проводников должен быть не менее 6 мм, а для прямоугольных – площадь сечения не менее 48 мм^2 . 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. При этом питающее электроустановку напряжение (рисунок 11.1) должно быть отключено. Для надежной работы плавких вставок предохранителей и отключения автоматов при однофазном замыкании в конце линии сопротивление петли «фаза – нуль» должно быть таким, чтобы возникший ток короткого замыкания превышал в 3 раза номинальный ток плавкой вставки и в 1,25–1,4 раза ток отключения мгновенного расцепителя автомата. Для измерения этого сопротивления без отключения питающего напряжения используют специальные приборы типа М-417, ИПЗ-2М, ИТК-1, прибор «Латвэнерго».

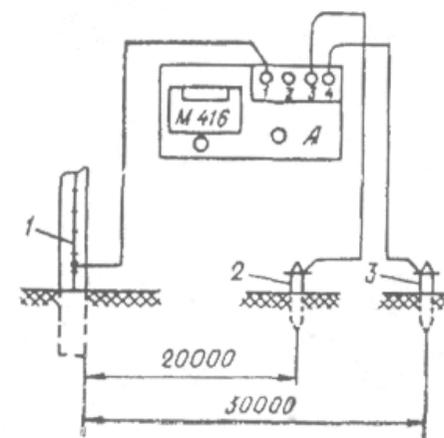


Рисунок 11.2 – Схема измерения сопротивления заземления опоры прибором М-416:

1 – спуск к заземляющему устройству; 2 – потенциальный зонд; 3 – токовый зонд

Для этих целей также применяют безразрывный измеритель сопротивления растеканию тока в землю (ИСЗ) с заземлителями электроустановок, работающих в электрических сетях 220/380 В с глухим заземлением нейтрали. В качестве источника тока в заземляющих устройствах и цепях зануления используют электрическую сеть или падение напряжения в нейтральном проводе. Кроме того, при помощи ИСЗ можно измерять значение тока в заземляющем проводнике, что обеспечивает контроль целостности зану-

ляющей цепи электроустановки. ИСЗ также определяют токи в нулевых проводах для разделения их на токоведущие и защитные электрические цепи при монтаже и наладке систем защитного отключения (рисунок 11.3).

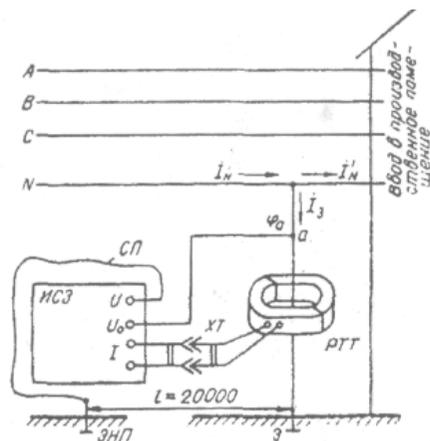


Рисунок 11.3 – Схема включения прибора ИСЗ для измерения сопротивления повторного заземлителя:

A, B, C и N – фазные и нулевой провод электрической цепи 0,4 кВ; РТТ – высокоочувствительный разъемный трансформатор тока; Х – штепсельный разъем для присоединения РТТ к измерительному блоку ИСЗ; ЭНП – электрод нулевого потенциала; 3 – повторный заземлитель нулевого провода на вводе в производственное помещение; I_3 – ток, стекающий с нулевого провода электрической сети в землю через заземлитель 3; СП – соединительный проводник ЭНП

Принцип работы ИСЗ основан на измерении естественного тока в проводнике, соединяющем нулевой провод с заземлителем, и его электрического потенциала (см. рисунок 11.3). За счет разности электрических потенциалов на нейтральном проводе через каждый повторный искусственный или естественный заземлитель всегда стекает ток от нулевого провода сети в землю и через заземлитель трансформаторной подстанции (ТП) к нейтрали устройства, питающего электрическую сеть. Таким образом, последовательно соединенные повторный заземлитель и заземлитель нейтрали ТП подключены параллельно нулевому проводу сети. По этим ветвям и распределяется, в соответствии с их проводимостями, ток нейтрали

ТП. Измеряя естественный ток заземлителя и электрический потенциал, по закону Ома определяют сопротивление растеканию тока в землю с испытуемого заземлителя. ИСЗ позволяет измерять токи от 100 мА до 10 А и сопротивления от 0,1 до 10 Ом.

Проверка стрел провеса и габаритных размеров ВЛ

Эти параметры можно измерять без снятия и со снятием напряжения. Без снятия напряжения габаритные размеры линий определяют при помощи теодолитов, специальных оптических угломерных приборов или изолирующих штанг. Наиболее точный из них – первый способ. Им измеряют угол α между прямой, соединяющей провод с местом установки прибора, и прямой, соединяющей прибор с проекцией точки провода на землю. Затем, по известным формулам тригонометрии находят расстояние h между проводом и землей. На горизонтальном участке трассы

$$h = D \operatorname{tg} \alpha + i, \quad (11.8)$$

где D – горизонтальное расстояние от теодолита до проекции провода; i – высота теодолита от земли.

Для непосредственного измерения габаритных размеров линии применяют изолирующие штанги. Один из монтеров касается провода линии концом штанги, другой – замеряет расстояние между нижним концом штанги и землей.

Расстояния от проводов ВЛ до поверхности земли при снятом напряжении, как и расстояния по горизонтали от проводов до строений, деревьев и т. п. также измеряют штангой.

Стрелы провеса измеряют угломерными приборами, чаще – методом глазомерного визирования. На стойках смежных опор закрепляют параллельно земле по одной рейке на расстоянии по вертикали от точки крепления провода, равном значению стрелы провеса провода при данной температуре. Наблюдатель располагается на одной из опор так, чтобы его глаза были на уровне рейки. Электромонтер перемещает ее до тех пор, пока низшая точка провисания не будет находиться на прямой, соединяющей обе визирные рейки. Стрелу провеса определяют как среднее арифметическое расстояний от точек подвеса провода до каждой рейки. Фактическая стрела провеса проводов не должна отличаться от нормативной более чем на 5 %.

Руководство организации, эксплуатирующей ВЛ, для предупреждения повреждений линий обязано: ознакомить руководителей

и персонал предприятий, расположенных в зоне электросетей, с правилами их охраны; оказывать помощь в проведении инструктажа о правильной организации работ вблизи ВЛ среди рабочих; проводить разъяснительную работу среди учащихся об опасности и недопустимости любых игр под проводами ВЛ и об ущербе, к которому может привести отключение линии.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите классификацию и устройство опор и заземляющих устройств.
2. Как проводится диагностирование различных видов опор?
3. Какие существуют приборы для диагностирования опор?
4. Опишите методы диагностирования заземляющих устройств.

Тема 12. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ (УВЭП, УЗО и др.)

План

Принципы действия УВЭП, УЗО. Классификация УЗО. Особенности выполнения УВЭП в сельскохозяйственных помещениях. Методы диагностирования защитных устройств.

Надежная электробезопасность обслуживающего персонала и сельскохозяйственных животных обеспечивается в соответствии с требованиями МЭК путем применения устройства отключения (УЗО), уравнивания электрических потенциалов в соответствии с ГОСТ 30331.3, а для крупных животноводческих помещений (с числом скотомест 20 и более в одном строении, насыщенных электрооборудованием и металлоконструкциями), применением УЗО, уравнивания потенциалов в соответствии с ГОСТ 30331.3, совместно с выравниванием электрического потенциала между металлоконструкциями. Следует отметить, что УЗО наряду с электробезопасностью обеспечивает и защиту от возникновения пожаров, которые возможны при повреждениях изоляции токоведущих частей и появлении тока утечки порядка 0,3 А и более.

К устройствам, обеспечивающим электробезопасность, относятся:

– системы заземления и зануления, устройства для выравнивания электрических потенциалов (УВЭП), разделяющие и понизительные трансформаторы, аппараты защитного отключения, двойная и усиленная изоляция.

Одним из основных способов защиты людей от поражения электрическим током является зануление (соединение металлических нетоковедущих частей электрооборудования с защитным нулевым проводником). В случае повреждения изоляции создается однофазное короткое замыкание на зануленный корпус, что приводит к отключению защитного аппарата сети.

Для эффективного функционирования указанной меры защиты, а также для оценки надежности срабатывания аппаратов защиты (автоматических выключателей и предохранителей) необходимо выполнение условия:

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq K \times I_{\text{з}}, \quad (12.1)$$

где $I_{\text{к}}^{(1)}$ – ток однофазного короткого замыкания, А;

K – коэффициент чувствительности защиты (для предохранителей и автоматических выключателей с тепловыми расцепителями $K = 3$);

I_3 – номинальный ток защитного аппарата (плавкой вставки или расцепителя), А.

Ток однофазного короткого замыкания зависит от сопротивления фазы питающего трансформатора и полного сопротивления петли «фазный – нулевой провод». Для диагностирования защиты необходимо периодическое измерение тока однофазного к. з. и его сравнение с допустимым значением согласно условию (12.1).

Для измерения указанного тока применяются приборы ЭК 0200, Щ41160 и др. Измеритель ЭК 0200 представляет собой переносной прибор. В пластмассовом футляре размещаются блок короткозамыкателя и блок измерения, а также соединительные провода и шнуры.

Ко второй группе устройств обеспечения электробезопасности относятся защитные средства: изолирующие штанги и подставки, изолирующие и токоизмерительные клещи, указатели напряжения, диэлектрические перчатки, боты и галоши, инструмент с изолированными рукоятками, диэлектрические коврики, переносные заземления, предохранительные пояса, страховочные канаты, временные ограждения, предупредительные плакаты.

С позиции технического обслуживания (в т. ч. диагностирования) и текущего ремонта указанные выше устройства условно делятся на две категории.

К первой категории относятся устройства, подлежащие ремонту в условиях специализированных мастерских либо вовсе не подлежащие ремонту:

- разделяющие и понизительные трансформаторы;
- аппараты защитного отключения;
- дополнительная изоляция;
- усиленная изоляция;
- изолирующие штанги и подставки;
- изолирующие и токоизмерительные клещи;
- указатели напряжения;
- диэлектрические перчатки, боты и галоши;
- инструмент с изолированными рукоятками;
- диэлектрические коврики.

Техническое обслуживание, в т. ч. диагностирование указанных средств обеспечения электробезопасности, за исключением периоди-

ческого внешнего осмотра и протирки их от пыли, проводит специально обученный персонал с разрешения Технического управления по эксплуатации энергосистем и технической инспекции отраслевого профсоюза.

Ко второй категории относятся устройства, ремонт и обслуживание которых выполняет электротехнический персонал, не имеющий специального разрешения Технического управления по эксплуатации энергосистем и технической инспекции отраслевого профсоюза, в т. ч. электротехнический персонал сельскохозяйственных предприятий:

- система зануления;
- система заземления;
- устройства для выравнивания электрических потенциалов (УВЭП), в т. ч. технологические и строительные металлоконструкции, обеспечивающие естественное выравнивание потенциалов;
- переносные заземления;
- временные ограждения;
- предупредительные плакаты.

Техническое обслуживание, в т. ч. диагностирование устройств обеспечения электробезопасности включает в себя два этапа. К первому относятся периодические осмотры и устранение мелких неисправностей, например, зачистка контактов коммутационных аппаратов от нагара, ко второму – периодические испытания.

Периодические осмотры предусматривают:

□ применительно к индивидуальным средствам защиты – проверку по штампу, до какого напряжения допустимо применение данного средства и не истек ли срок периодического его испытания; проверку исправности защитного средства (например, индикатора напряжения, подсоединяя его к заведомо находящейся под напряжением токоведущей части); проверку на отсутствие внешних повреждений (вмятин, трещин, коррозии, сколов, обрывов и т.п.); очистку защитных средств от грязи и пыли;

□ применительно к системам зануления и защитного заземления – проверку надежности контактных соединений, разборку контактного соединения, проверку и, при необходимости, очистку соприкасающихся соединений от коррозии, смазку зачищенных поверхностей техническим вазелином, повторную сборку контактного соединения, при необходимости – окраску зануляющих и заземляющих проводников;

□ применительно к устройствам для выравнивания электрических потенциалов, элементы которого не защищены бетоном, – визуальную проверку целостности выравнивающих элементов;

□ применительно к аппаратам защитного отключения – осмотр силовых контактов коммутационного аппарата и (при обнаружении нагара) – их зачистку, проверку работоспособности аппарата нажатием кнопки «Контроль».

Периодические испытания защитных средств электробезопасности предусматривают:

□ применительно к защитным средствам, обеспечивающим электробезопасность за счет изоляции (дополнительная изоляция, усиленная изоляция, разделяющие трансформаторы, изолирующие штанги и т. п.), – испытание этой изоляции повышенным напряжением;

□ применительно к устройствам защитного отключения – измерение тока вставки и времени срабатывания устройства;

□ применительно к системе зануления – измерение сопротивления петли «фаза – нуль» и измерения тока срабатывания коммутационного аппарата, а при наличии плавких вставок – проверку соответствия их номинальных токов фактическому току замыкания на корпус;

□ применительно к системе заземления – измерение сопротивления растеканию заземлителя, предназначенного для повторного заземления нулевого провода, и заземлителя трансформаторной подстанции, если последняя находится на балансе хозяйства;

□ применительно к устройствам для выравнивания электрических потенциалов (УВЭП) – измерение напряжений прикосновения и шага в стойлах фермы для всех возможных аварийных режимов.

Текущий ремонт устройства обеспечения электробезопасности второй категории включает замену порванных или поврежденных коррозией заземляющих и зануляющих проводников, замену поврежденных контактных соединений (болтовых или выполненных при помощи сварки), проверку заземлителей путем выборочного их вскрытия, в случае необходимости – замену отдельных его элементов или всего заземления, проверку и при необходимости – перепайку зажимов переносных заземлителей, замену поврежденных гибких канатиков, замену ограждений, окраску зануляющих и заземляющих проводников, проводников УВЭП, временных ограждений, восстановление краски на предупредительных плакатах.

Присоединение заземляющих проводников к заземлителям, заземляющему контуру и к заземляемым конструкциям должно выполняться сваркой, а к корпусам аппаратов, машин и опорам воздушных линий электропередачи – сваркой или надежным болтовым соединением и удовлетворять требованиям ГОСТ 3031.3.

Открыто проложенные заземляющие проводники должны иметь отличительную окраску в соответствии с требованиями стандартов.

Использование земли в качестве фазного или нулевого провода в электроустановках напряжением до 1000 В запрещается.

Временные переносные заземления, применяемые для заземления токоведущих частей ремонтируемой части электроустановки, состоящие из проводников для закорачивания фаз и проводников для присоединения к заземляющему устройству, выполняются из неизолированных гибридных медных многожильных проводов, имеющих сечение, соответствующее требованиям термической стойкости при коротких замыканиях, но не менее 25 мм².

Для определения технического состояния заземляющего устройства периодически производятся:

- а) внешний осмотр видимой части заземляющего устройства;
- б) осмотр с проверкой цепи между заземлителем и заземляемыми элементами (отсутствие обрывов и неудовлетворительных контактов в проводке, соединяющей аппарат с заземляющим устройством), а также проверка пробивных предохранителей трансформаторов;
- в) измерение сопротивления заземляющего устройства;
- г) проверка цепи «фаза – нуль»;
- д) проверка надежности соединений естественных заземлителей;
- е) выборочное вскрытие грунта для осмотра элементов заземляющего устройства, находящихся в земле;
- ж) измерение удельного сопротивления грунта для опор линий электропередачи напряжением выше 1000 В.

Внешний осмотр заземляющего устройства производится вместе с осмотром электрооборудования РУ, трансформаторных подстанций и распределительных пунктов, а также цеховых и других электроустановок.

Об осмотрах, обнаруженных неисправностях и принятых мерах должны быть сделаны соответствующие записи в журнале осмотра заземляющих устройств или оперативном журнале.

Значения сопротивлений заземляющих устройств должны поддерживаться на уровне, определенном требованиями ПУЭ, с целью обеспе-

чить напряжения прикосновения в соответствии с действующими нормами.

На каждое находящееся в эксплуатации заземляющее устройство должен иметься паспорт, содержащий схему заземления, основные технические данные, данные о результатах проверки состояния заземляющего устройства, о характере ремонтов и изменениях, внесенных в данное устройство.

Периодичность проведения технического обслуживания и текущего ремонта

Периодичность осмотров и испытаний защитных средств регламентируется действующими Правилами пользования и испытания защитных средств, применяемых в электроустановках. Эта периодичность приведена в таблице 12.1.

Таблица 12.1– Периодичность осмотров и испытаний защитных средств

Защитные средства	Сроки периодических	
	испытаний	осмотров
1	2	3
Изолирующие клещи	1 раз в 2 года	1 раз в год
Токоизмерительные клещи	1 раз в год	1 раз в 6 мес
Указатели напряжения, работающие на принципе протекания активного тока	1 раз в год	Перед применением
Инструмент с изолирующими рукоятками	1 раз в год	то же
Перчатки резиновые диэлектрические	1 раз в 6 мес	то же
Боты резиновые диэлектрические	1 раз в 3 года	1 раз в 6 мес
Галоши резиновые диэлектрические	1 раз в год	то же
Коврики резиновые диэлектрические	1 раз в 2 года	1 раз в год

Периодичность проведения технического обслуживания и текущего ремонта остальных устройств обеспечения электробезопасности регламентируется действующими Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей. Она приведена в таблице 12.2.

Техническое обслуживание и текущий ремонт устройств обеспечения электробезопасности проводит электротехнический персонал сельскохозяйственного предприятия без чьих-либо разрешений (кроме измерения сопротивления заземления на ТП и повторных заземлений на ВЛ 0,4 кВ, если их обслуживает энергосистема).

Таблица 12.2– Периодичность проведения технического обслуживания и текущего ремонта устройств обеспечения электробезопасности

Устройства обеспечения электробезопасности	Сроки		
	Периодических осмотров	Периодических испытаний	Текущих ремонтов
1	2	3	4
Аппараты защитного отключения всех систем	1 раз в 3 мес	1 раз в 6 мес	-
Разделяющие трансформаторы	1 раз в сут	1 раз в год	-
Заземляющее устройство:			
На ТП	1 раз в 6 мес	1 раз в год	1 раз в 6 лет
На вводе в помещение	1 раз в 3 мес	1 раз в год	1 раз в 6 лет
На воздушной линии	1 раз в 6 мес	1 раз в год	1 раз в 6 лет
Устройство для выравнивания электрических потенциалов (УВЭП)	-	1 раз в год	1 раз в 10 лет
То же, проводники которого не защищены бетоном	1 раз в 6 мес	1 раз в год	1 раз в 2 года
Система зануления, включая аппараты защиты	1 раз в 6 мес	1 раз в 5 лет	1 раз в 10 лет
То же, в животноводческом помещении	1 раз в 6 мес	см. примечание	1 раз в 6 лет
Изол-е вставки, включая изоляцию эл/нагревателей	1 раз в 6 мес	1 раз в год	1 раз в 6 лет

12.1. Контроль исправности устройств для выравнивания электрических потенциалов

Указанные ниже измерения должны проводиться лабораторией, имеющей соответствующий аттестат аккредитации. Такие лаборатории могут быть как в обслуживающих организациях, так и в составе сельхозпредприятий, фермерских хозяйств и т. п.

Контроль исправности УВЭП или проверка достаточности естественного выравнивания электрических потенциалов должны осуществляться либо путем измерения распределения напряжений прикосновения и шага на полу стойл в местах размещения животных, либо по оценке реакции (по отсутствию вздрагивания) животных на кратковременную (длительностью не более 0,05 с) подачу фазного напряжения сети (220 В в режиме холостого хода), с начальной фазой 80–100 °С или 260–280 °С непосредственно на зануленные металлоконструкции, которые могут быть доступны для прикосновения животных. При этом электробезопасность животных в процессе проверки обеспечивается кратковременностью подаваемого напряжения.

Подавать напряжение на металлоконструкции следует через короткозамыкатель с той фазы, электрическая изоляция которой по отношению к земле хуже по сравнению с изоляцией двух других фаз. Несоблюдение этого требования может стать причиной пробоя изоляции и вызвать массовую гибель скота и поражение людей. В целях обеспечения надежного электрического контакта в месте подачи напряжения следует в качестве зажима для подключения фазного провода короткозамыкателя к металлоконструкциям использовать струбцину или трубный ключ. При этом работать с трубным ключом необходимо в диэлектрических перчатках. Подавать напряжение следует при наличии временно созданной на период измерений дополнительной электрической связи между нулевым проводом сети и всеми доступными для прикосновения животным металлоконструкциями. В том случае, когда контроль исправности УВЭП и проверка достаточности естественного выравнивания электрических потенциалов осуществлялись измерением напряжений прикосновения и шага, обязательна дополнительная проверка условий электробезопасности животных по оценке их реакции на кратковременную подачу напряжения, о чем должна быть сделана отметка в акте. Без такой отметки в акте эксплуатировать электрооборудование животноводческого помещения запрещается.

Производить измерения распределения напряжения прикосновения, напряжения шага и токов короткого замыкания рекомендуется измерителем ЭКО 200; токов короткого замыкания – измерителем тока короткого замыкания цифрового Ц41160. Повторное заземление нулевого провода воздушной линии рекомендуется измерять с помощью измерителя сопротивления заземления М-416 или калиброванного нагрузочного резистора с водяным охлаждением НР-64/220. Последний может использоваться для производства измерения распределения напряжений прикосновения и шага на пониженных токах с последующим пересчетом полученных значений на номинальный ток короткого замыкания или на номинальное напряжение на металлоконструкции на момент замыкания. Измерение напряжения прикосновения, напряжения шага, тока короткого замыкания и сопротивления заземления может выполняться и другими типами подобных приборов, сертифицированными в Республике Беларусь.

Предпусковой контроль исправности УВЭП или проверка достаточности естественного выравнивания электрических потенциалов должны проводиться в два этапа:

I этап – на стадии окончания пусконаладочных работ непосредственно (за 1–2 дня) перед заполнением помещений животными;

II этап – после заполнения помещений животными и содержания в них животных в течение одного месяца, т. е. в период, когда увлажнение пола стойл выделениями животных достигнет того состояния, которое имеет место в нормальном эксплуатационном режиме содержания животных в соответствии с РД ВУ 008.609.90. Если окажется, что измеренные на первом этапе значения напряжений прикосновения и шага в помещениях для животных превышают допустимые значения, размещать животных в таких помещениях категорически запрещается.

В тех случаях, когда указанное превышение будет обнаружено на втором этапе, немедленно должны быть приняты меры по обеспечению надежного выравнивания электрических потенциалов путем прокладки дополнительных элементов УВЭП.

Периодически контроль исправности УВЭП или проверку достаточности естественного выравнивания электрических потенциалов необходимо проводить не реже одного раза в год. В том числе:

- а) при круглогодичном содержании животных в помещениях;
- б) через каждый год эксплуатации животноводческого помещения;

в) после завершения пастбищного периода и переводе животных на стойловое содержание – в два этапа.

Дополнительные проверки исправности УВЭП проводятся каждый раз после капитального ремонта и реконструкции помещения, капитального ремонта и реконструкции распределительных электросетей 0,4 кВ и трансформаторных подстанций, при замене электропроводок, реконструкции и модернизации технологического оборудования и т. п.

Визуальный контроль исправности УВЭП следует проводить не реже одного раза в 7 дней. Результаты испытаний должны оформляться актом.

Перед вводом фермы в эксплуатацию, а затем периодически необходимо проверять с помощью измерителя сопротивления заземления М-416 или калиброванного нагрузочного резистора с водяным охлаждением НР-64/220, удовлетворяет ли сопротивление повторного заземления нулевого провода на вводе в животноводческое помещение требованиям действующих норм. При наличии акта, составленного по результатам измерений напряжений прикосновения и шага, свидетельствующего о том, что выравнивание электрических потенциалов на ферме обеспечивает электробезопасность людей, сельскохозяйственных животных в режиме замыкания на корпус, можно, не проводя проверки, делать заключение о том, что сопротивление повторного заземления нулевого провода на вводе в животноводческое помещение удовлетворяет требованиям действующих норм. В те же сроки необходимо проверять эффективность работы системы зануления на вводе в помещение (проверяют работники организации, на балансе которой находятся наружные сети и трансформаторная подстанция), а также на всех электроприемниках, находящихся в животноводческом помещении (проверяют (организовывают проверку) работники электротехнической службы хозяйства).

При наличии акта, составленного по результатам измерений напряжения прикосновения и шага, свидетельствующего о том, что выравнивание электрических потенциалов на ферме обеспечивает электробезопасность людей, сельскохозяйственных животных в режиме замыкания на корпус, измерять сопротивление изоляции силовых и осветительных электропроводок и других электрических цепей на ферме не требуется. Проверку состояния электрической изоляции таких цепей следует проводить только путем их тщательного внешнего осмотра, не реже одного раза в год, с обязательным

отражением результатов проверки в акте, который должен храниться у лица, ответственного за электрохозяйство.

Не требуется также измерять сопротивление контактов в цепях между заземленными установками и элементами заземленной установки. Наличие таких цепей следует проверять так же, как и наличие цепей между заземлителями и заземленными элементами, т. е. путем визуального осмотра на предмет отсутствия в цепи обрывов и неудовлетворительных контактов. Сопротивление контактов и цепей не нормируется. Результаты проверок отражаются в акте, хранящемся у лица, ответственного за электрохозяйство.

Акты проверок являются приложением к отчету, который должен быть подписан руководителем организации, проводившей проверку, и скреплен печатью. Без отчета акты недействительны.

Вопросы для самоконтроля

1. Какая классификация защитных устройств?
2. Опишите принцип действия УЗО, УВЭП.
3. Назовите особенности выполнения УВЭП в сельскохозяйственных помещениях.
4. Как осуществляется контроль исправности УВЭП?
5. Охарактеризуйте методы диагностирования защитных устройств.

Тема 13. КОМПЛЕКСНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

План

Диагностирование электрооборудования по нескольким параметрам. Диагностирование электрооборудования при сдаче-приемке в эксплуатацию. Диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании и текущем ремонте.

13.1. Комплексное диагностирование электрооборудования при сдаче-приемке, техническом обслуживании и текущем ремонте

Диагностирование электрооборудования при сдаче-приемке электроустановок должно выполняться в соответствии с ГОСТ 50571.16 (МЭК 60364–6–61). При этом разделяют визуальный осмотр и собственно испытания. Визуальный осмотр проводят для того чтобы удостовериться, что все стационарно установленное оборудование удовлетворяет требованиям безопасности и соответствующих стандартов, правильно выбрано и смонтировано, не имеет видимых повреждений, снижающих его безопасность и надежность. При осмотре проверяют наличие противопожарных уплотнений, защиту от тепловых воздействий, меры защиты от поражения электрическим током (расстояния до защитных ограждений и оболочек, маркировку нулевых и защитных проводников, наличие схем, предупреждающих надписей), маркировку цепей, предохранителей, правильность соединения проводников, наличие правильно расположенных соответствующих отключающих и отделяющих аппаратов, правильность выбора устройств защиты и сигнализации и уставок их срабатывания.

При испытаниях должны быть выполнены проверки, измерения и испытания в следующей последовательности: испытания непрерывности защитных проводников; измерения сопротивления изоляции электроустановки; проверка защиты путем разделения цепей; измерение сопротивления изоляции пола и стен; проверка защиты, обеспечивающей автоматическое отключение источника питания; проверка полярности; испытания на электрическую прочность; проверки на работоспособность, на термическое воздействие, на потерю напряжения.

Техническое состояние электрооборудования определяют в процессе технического обслуживания, планового диагностирования и текущего ремонта.

При техническом обслуживании диагностирование служит для определения работоспособности электрооборудования, проверки стабильности регулировок, установления необходимости ремонта или замены отдельных узлов и деталей. При этом контролируют так называемые «обобщенные параметры», которые несут максимум информации о состоянии электрооборудования (например, температура отдельных узлов и деталей).

При плановом диагностировании контролируют параметры, которые характеризуют техническое состояние и позволяют определять остаточный ресурс деталей и узлов, ограничивающих ресурс электрооборудования.

Во время диагностирования при текущем ремонте, проводимом на специализированном участке или в мастерской, в основном измеряют параметры, характеризующие техническое состояние обмоток электрооборудования. Остаточный ресурс обмоток, являющихся основным узлом электрооборудования, не должен быть меньше периода между текущими ремонтами. Если ресурс обмоток меньше межремонтного периода, электрооборудование подлежит сдаче в капитальный ремонт.

При наличии отказов электрооборудование подвергают внеплановому диагностированию, позволяющему определить, какие узлы и детали подлежат ремонту или замене, а также установить вид ремонта (текущий или капитальный).

Диагностирование электрооборудования проводят с помощью переносных приборов и приспособлений. Для контроля электрооборудования, доступ к которому затруднен или невозможен, целесообразно применять автоматические диагностические устройства (например, диагностирование находящихся в скважинах электродвигателей погружных электронасосов с помощью автоматического диагностического устройства КИ-6301).

Техническое состояние при проведении технического обслуживания и планового диагностирования определяют без разборки электрооборудования. Перед диагностированием, в случае необходимости, снимают только защитные сетки вентиляционных окон, крышки коробок выводов и другие быстросъемные детали, обеспечивая доступ к диагностируемым узлам.

Следует особо отметить важность внешнего осмотра узлов и деталей электрических машин и аппаратов (особенно обмоток) при диагностировании во время текущего ремонта. Внешним осмотром обмоток можно определить техническое состояние пазовых клиньев, бандажей крепления лобовых частей обмоток и якорей, изоляции соединений между катушечными группами обмоток, между проводами и выводными концами. Внешним осмотром также определяют степень загрязнения обмоток. Наиболее важным фактором внешнего осмотра является определение, не подвергались ли обмотки перегреву во время перегрузок по различным причинам. У обмоток с проводами с эмалевой изоляцией признаком перегрева служит потемнение изоляции витков, по которым проходил ток, значительно превышающий номинальное значение.

Потемнение является также признаком перегрева контактных разъемных и неразъемных соединений электрических машин и аппаратов.

Диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании

Диагностирование при техническом обслуживании проводят с целью оценки общего технического состояния и подтверждения, что электрооборудование не требует ремонта, т. е. для установления его работоспособности. Объем диагностирования в этом случае ограничен измерением минимального количества параметров, несущих информацию об общем техническом состоянии электрооборудования, и регламентируется технической документацией. Параметры, измеряемые при диагностировании электрооборудования в процессе технического обслуживания, перечислены в таблице 13.1

Таблица 13.1– Диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании

Наименование электрооборудования	Измеряемый параметр	Средство измерения
1	2	3
Электродвигатели асинхронные единых серий	Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса и обмотки фазного ротора относительно вала	Мегомметры

Продолжение таблицы 13.1

1	2	3
	Амплитуда вибрации корпуса и подшипниковых щитов в зоне подшипников Токи, потребляемые электродвигателем Температура корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, соединений выводных концов с подводными питающими проводами, в зоне контакта щеток с контактными кольцами	Приборы для измерения амплитуды вибрации Электроизмерительные клещи Приборы для бесконтактного измерения температуры
Погружные электродвигатели	Сопротивление изоляции обмотки статора Токи, потребляемые электродвигателем	Мегомметры Электроизмерительные клещи
Генераторы передвижных электростанций	Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса и обмотки якоря относительно вала Амплитуда вибрации корпуса и подшипниковых щитов в зоне подшипников Температура корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, контактных соединений в коробке выводов, в зоне контакта щеток с контактными кольцами	Мегомметры Приборы для измерения амплитуды вибраций Приборы для бесконтактного измерения температуры
Сварочные генераторы	Сопротивление изоляции обмотки якоря и полюсов Степень искрения щеток при работе Амплитуда вибрации корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, щеток Температура коллектора, щеток, доступных мест соединений схемы генератора, выводных зажимов, подшипниковых щитов в зоне подшипников	Мегомметры. Приборы для измерения амплитуды вибраций. Приборы для бесконтактного измерения температуры

Окончание таблицы 13.1

1	2	3
Сварочные преобразователи	Сопrotивление изоляции обмоток якоря и полюсов генератора и обмотки статора электродвигателя. Степень искрения щеток Амплитуда вибрации корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, щеток Температура коллектора, щеток, мест соединений схемы генератора, выводных зажимов генератора, подшипниковых щитов в зоне подшипников, корпуса электродвигателя, соединений выводных концов электродвигателя с подводящими питание проводами	Мегомметры. Приборы для измерения амплитуды вибраций Приборы для бесконтактного измерения температуры
Магнитные пускатели	Температура контактов и мест соединений силовых цепей Задержка в отпуске магнитной системы при отключении магнитного пускателя Температура контактов и мест соединений силовых цепей	Мегомметры Приборы для измерения амплитуды вибраций
Автоматические выключатели Электрокалориферы	Сопrotивление изоляции Температура воздуха на выходе	Приборы для бесконтактного измерения температуры
Электроводонагреватели и парогенераторы	Переходное сопротивление между корпусом и шиной контура заземления Сопrotивление изоляции между корпусом (изолированным) и контуром заземления. Потребляемый ток.	Приборы для бесконтактного измерения температуры Мегомметры Термометры Омметры Электроизмерительные клещи

Примечание. При диагностировании электродвигателей, генераторов передвижных электростанций, сварочных генераторов и преобразователей, магнитных пускателей проводится прослушивание их работы с целью обнаружения посторонних шумов и стуков.

Плановое диагностирование оборудования

Измеряемые при плановом диагностировании параметры электродвигателей, генераторов передвижных электростанций, сварочных генераторов и преобразователей, магнитных пускателей и автоматических выключателей, электрокалориферов, электродвигателей и парогенераторов приведены в таблице 13.2.

Таблица 13.2 – Плановое диагностирование электрооборудования

Наименование операции	Измеряемые параметры	Приборы, инструменты
1	2	3
Электродвигатели асинхронные единых серий		
Осмотр, проверка работы, выполнение операций технического обслуживания Определение состояния корпусной и межфазной изоляции обмоток, а также изоляции фазного ротора относительно вала	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 1200 и 1800 В); относительное приращение при повышении напряжения (от 1200 до 1800 В); величина несимметрии в фазах обмотки; стабильность при повышении напряжения до 1800 В (отсутствие колебаний и бросков)	Компрессор, ключи гаечные, отвертка
Определение состояния межвитковой изоляции обмоток	Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1500 В)	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95.
Определение состояния подшипниковых узлов	Величина зазоров в размерной цепи «вал – корпус» при зажатых и отпущенных болтах крепления подшипниковых щитов	Аппарат ВЧФ-Э-3 Схемы или прибор для диагностирования подшипников КИ-64111 Схема для проверки обмоток роторов

Продолжение таблицы 13.2

1	2	3
<p>Определение состояния короткозамкнутой обмотки ротора</p> <p>Проверка центровки вала электродвигателя и рабочей машины.</p> <p>Определение состояния обмотки статора</p>	<p>Величина относительного изменения тока в фазе обмотки статора электродвигателя при проворачивании ротора:</p> $\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\text{vax}}} \times 100 \%,$ <p>где I_{\max}, I_{\min} – наибольшее и наименьшее значения тока, А</p> <p>Величина параллельного и углового смещения валов</p> <p>Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 600В); приращение при повышении напряжения (от 1000 до 1100В); тангенс угла диэлектрических потерь</p>	<p>Приспособление для центровки валов 70-8701-2002</p> <p>Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, мост Р-5626</p> <p>Амперметр Э-514</p>
<p>Определение состояния короткозамкнутой обмотки ротора.</p> <p>Определение нагрузки электродвигателя</p>	<p>Величина модуляции тока в фазах обмотки статора при работе электродвигателя.</p> <p>Величина токов, потребляемых электродвигателем из сети.</p>	<p>Электроизмерительные клещи Ц-4501</p>
Генераторы подвижных электростанций		
<p>Осмотр, проверка работы, выполнение операций технического обслуживания</p>	<p>Те же, что для электродвигателей асинхронных</p>	<p>Компрессор, ключи гаечные, отвертка</p>

Продолжение таблицы 13.2

1	2	3
<p>Определение состояния корпусной и межфазной изоляции обмотки статора</p> <p>Определение состояния межвитковой изоляции обмотки статора</p> <p>Определение состояния обмоток полюсов:</p> <p>изоляция относительно активной стали полюсов</p> <p>Межвитковая изоляция</p> <p>Определение состояния подшипниковых узлов</p> <p>Определение состояния щеточного механизма</p>	<p>Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1500В)</p> <p>Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 500 и 1000 В); приращение при повышении напряжения (от 500 до 1000В); стабильность при повышении напряжения (до 1000 В)</p> <p>Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1000В). Величина зазоров в размерной цепи «вал – станина» при зажатых и отпущенных болтах крепления подшипниковых щитов</p>	<p>Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95</p> <p>Аппарат ВЧФ-5-3</p> <p>Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95</p> <p>Аппарат ВЧФ-5-3</p> <p>Схемы или прибор для диагностирования подшипников КИ-64111.</p> <p>Штангенциркуль. ШЦ-I-125-0,1</p> <p>Динамометр Шаблон</p> <p>Индикаторы часового типа</p>

Продолжение таблицы 13.2

1	2	3
Проверка контактных и разрезных колец механического выпрямителя Проверка центровки валов генератора и привода	Высота щеток Усилие нажатия на щетки Зазор между нижней кромкой обоймы щеткодержателя и поверхностью контактного кольца Величина биения колец Величина параллельного и углового смещения валов	Приспособление для центровки валов 70-8701-2002
Сварочные генераторы и преобразователи		
Осмотр, опробование генератора и преобразователя, выполнение операций технического обслуживания Проверка работы генератора	Изменение напряжения на зажимах генератора при регулировании сварочного тока Напряжение на зажимах при номинальном токе генератора. Степень искрения под сбегаящим краем щеток при номинальном токе	Компрессор и др. Вольтметр Э-515, амперметр Э-514
Определение состояния щеточного механизма.	Высота щеток. Усилие нажатия на щетки.	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 Динамометр Шаблон
Определение состояния коллектора.	Зазор между нижней кромкой обоймы щеткодержателя и поверхностью коллектора	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1

Продолжение таблицы 13.2

1	2	3
Определение состояния механизма регулирования сварочного тока	Глубина залегания изоляции между пластинами коллектора Величина биения коллектора	Индикатор часового типа. Схема для измерения падения напряжений, милливольтметр
Определение состояния обмотки якоря	Падение напряжения между рядом расположенными пластинами	Омметр М-372
	Изменение сопротивления реостата при вращении маховичка регулирования сварного тока Величина сопротивления между выводами реостата Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 500 и 1500 В); стабильность при повышении напряжения (до 1500 В); относительное приращение при повышении напряжения (от 500 до 1600 В)	Омметр М-372 Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95

Продолжение таблицы 13.2

1	2	3
<p>Определение состояния изоляции обмоток последовательных катушек главных и дополнительных полюсов, а также параллельных катушек главных полюсов относительно корпуса</p> <p>Определение состояния межвитковой изоляции параллельных катушек главных полюсов</p> <p>Определение состояния электродвигателя привода сварочного преобразователя</p>	<p>Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 1500В); стабильность при повышении напряжения (до 1500 В). Уровень электрической прочности при приложении высокочастотного напряжения</p> <p>Те же, что для электродвигателей асинхронных</p>	<p>Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95 Аппарат ВЧФ-5-3</p>
Магнитные пускатели		
<p>Осмотр, проверка работы, выполнение операций технического обслуживания</p> <p>Определение состояния катушки</p>	<p>Напряжение на контрольной катушке</p> <p>Раствор, конечное нажатие, провал контактов</p>	<p>Отвертка, ключи гаечные и др.</p> <p>Приборы или приспособления для проверки катушек аппаратов</p>

Продолжение таблицы 13.2

1	2	3
Определение состояния контактной системы		Прибор для измерения параметров контактных систем КИ-6427
Автоматические выключатели		
	Нажатие, провалы контактов	<p>Отвертка, ключи гаечные и др.</p> <p>Прибор для измерения параметров контактных систем КИ-6427</p>
Электрокалориферы		
Осмотр		Компрессор, ключи гаечные, отвертка и др. Омметр М-372
Определение состояния трубчатых нагревательных элементов	Сопrotивление элементов Сопrotивление изоляции элементов	Мегомметр М-4100/3 Электроизмерительные клещи Ц-4501 Термометр ТЛ-4
Определение состояния регулятора температуры Определение технического состояния электродвигателя	Ток, потребляемый элементами. Температура срабатывания регулятора Те же, что для электродвигателей асинхронных	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, аппарат ВЧФ-5-3, мегомметр М-4100/3 и др.

Окончание таблицы 13.2

1	2	3
Электроводонагреватели и парогенераторы		
Осмотр, выполнение операций технического обслуживания Определение состояния нагревательных элементов	Сопротивление элементов (трубчатых) Сопротивление изоляции элементов Сопротивление изоляции между корпусом (изолированным) и контуром заземления. Потребляемый ток	Компрессор, ключи гаечные, отвертка Омметр М-372 Мегомметр М-4100/3 Мегомметр М-4100/3 Электроизмерительные клещи Ц-4501
Определение состояния регулятора температуры	Температура воды или пара на выходе Температура срабатывания регулятора	Термометр ТЛ-4 Термометр ТЛ-4

Примечание. При диагностировании изоляции обмотки фазного ротора величины напряжений уменьшаются пропорционально уменьшению рабочего напряжения обмотки ротора по отношению к рабочему напряжению обмотки статора.

Диагностирование электрооборудования при текущем ремонте

При текущем ремонте диагностирование электрооборудования проводят с целью определения остаточного ресурса основных узлов и деталей, установления необходимости их замены или ремонта, определения, подлежит ли электрооборудование сдаче в капитальный ремонт.

Объем и порядок диагностирования электрооборудования при текущем ремонте регламентируется технической документацией.

Перечень диагностических параметров, измеряемых при текущем ремонте электрооборудования, приведен в таблице 13.3.

Таблица 13.3 – Диагностирование электрооборудования при текущем ремонте

Наименование диагностируемого узла или детали	Степень разборки Электрооборудования	Используемый параметр	Средство измерения
1	2	3	4
Электродвигатели асинхронные единых серий			
Обмотки статора и фазного ротора	Статор без подшипниковых щитов и ротора		
Изоляция обмотки статора относительно корпуса и между фазами		Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 1200 и 1800 В); относительное приращение при повышении напряжения (от 1200 до 1800 В); величина несимметрии в фазах обмотки; стабильность при повышении напряжения до 1800 В (отсутствие колебаний и бросков)	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95

181

Продолжение таблицы 13.3

1	2	3	4
Изоляция обмотки фазного ротора относительно активной стали	Ротор, вынутый из расточки статора	Те же характеристики токов утечки, что для обмотки статора относительно корпуса (за исключением величины несимметрии токов в фазах обмотки) Величины напряжений при диагностировании уменьшаются пропорционально уменьшению рабочего напряжения обмотки ротора по отношению к рабочему напряжению обмотки статора	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Изоляция обмоток статора между витками		Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1500 В)	Аппарат ВЧФ-5-3
Изоляция обмоток фазного ротора между витками		Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1000 В)	Аппарат ВЧФ-5-3

182

1	2	3	4
Подшипники	Якорь с подшипниками на валу	Радиальный зазор в подшипниках	Приспособление КИ-6178
Сварочные генераторы			
Обмотки якоря (изоляция обмотки относительно активной стали)	Якорь в сборе	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 500 и 1000 В); приращение при повышении напряжения (с 500 до 1000 В); стабильность при повышении напряжения до 1000 В	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Короткозамкнутая обмотка ротора	Электродвигатель в сборе	Относительное изменение тока в фазе обмотки статора при вращении	Амперметр Э-514
Подшипники	Ротор с подшипниками на валу	Радиальный зазор в подшипниках	Приспособление КИ-6178
Погружные электродвигатели			
Обмотка статора	Электродвигатель в сборе или статор без подшипниковых щитов и ротора	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 600 В); приращение при повышении напряжения (от 1000 до 1100 В)	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95

1	2	3	4
Короткозамкнутая обмотка ротора	Электродвигатель в сборе	Тангенс угла электрических потерь. Относительное изменение тока в фазе обмотки статора при вращении ротора	Мост Р-5026 Амперметр Э-514
Генераторы передвижных электростанций			
Обмотка статора	Статор без подшипниковых щитов и якоря	То же, что для обмотки статора электродвигателей асинхронных	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, аппарат ВЧФ-5-3
Обмотка полюсов: Изоляция обмотки относительно активной стали полюсов	Якорь с полюсами	Токи утечки: абсолютная величина (при напряжении 500 и 1000 В); приращение при повышении напряжения (от 500 до 1000 В); стабильность при повышении напряжения до 1000 В	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Изоляция шунтовой обмотки между витками		Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 800 В)	Аппарат ВЧФ-5-3

1	2	3	4
Сварочные преобразователи			
Обмотка якоря генератора	Якорь в сборе	То же, что для обмотки якоря сварочных генераторов	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
Обмотки полюсов	Индуктор в сборе	То же, что для обмоток статоров сварочных генераторов	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95 аппарат ВЧФ-5-3
Обмотка статора электродвигателя	Статор электродвигателя	То же, что для обмоток статоров электродвигателей асинхронных	То же
Короткозамкнутая обмотка ротора		То же, что для короткозамкнутых обмоток роторов электродвигателей асинхронных	Амперметр Э-514

185

1	2	3	4
Магнитные пускатели			
Обмотка катушки (межвитковая изоляция катушки)	Катушка, снятая с магнитопровода	Уровень электрической прочности межвитковой изоляции	Аппарат ВЧФ-5-3
Контактная система	Магнитный пускатель в сборе	Нажатие и провалы контактов	Приспособление для измерения параметров контактных систем КИ-6427
Автоматические выключатели			
Контактная система	Автоматический выключатель в сборе	Нажатие и провалы контактов	То же
Электрокалориферы			
Трубчатые нагревательные элементы	Сняты токопроводящие проводники	1. Сопротивление элементов 2. Сопротивление изоляции	Омметр М-372 Мегомметр М-4100/3
Регулятор температуры	Электрокалорифер в сборе	Температура срабатывания регулятора	Термометр ТЛ-4

186

1	2	3	4
Электродвигатель вентилятора	Электродвигатель в сборе	То же для электродвигателя асинхронного	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, аппарат ВЧФ-5-3 и др.
Электроводонагреватели и парогенераторы			
Нагревательные элементы	Сняты токопроводящие проводники	1. Сопротивление трубчатых элементов 2. Сопротивление изоляции элементов	Омметр М-372 Мегомметр М-41000/3
Регулятор температуры	Электронагреватель и парогенератор в сборе	1. Температура срабатывания регулятора 2. Температура воды или пара на выходе	Термометр ТЛ-4

Диагностирование электрооборудования при капитальном ремонте

При капитальном ремонте диагностирование проводят в основном для определения остаточного ресурса обмоток электрических машин с целью установления целесообразности их дальнейшей эксплуатации или замены. В наибольшей мере это относится к электрическим машинам, имеющим несколько обмоток (синхронные генераторы, сварочные генераторы, сварочные преобразователи и др.). При выходе хотя бы одной обмотки из строя электрическая машина поступает в капитальный ремонт. Если данные диагностирования других обмоток машины показывают, что они имеют остаточный ресурс меньше периода между капитальными ремонтами, то обмотки подлежат перемотке.

Диагностирование обмоток при капитальном ремонте рекомендуется проводить теми же методами, что и при плановом диагностировании. В дальнейшем для целей капитального ремонта будут разработаны специальные методы и приборы, рассчитанные для применения в стационарных условиях.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое комплексное диагностирование электрооборудования?
2. Назовите особенности комплексного диагностирования электрооборудования при техническом обслуживании и текущем ремонте.
3. Что такое диагностирование электрооборудования при сдаче-приемке в эксплуатацию?
4. Как осуществляется плановое диагностирование электрооборудования?

Тема 14. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

План

Сущность методов диагностирования. Приборы и оборудование вибродиагностики. Основные положения вибродиагностики.

Процесс вибродиагностирования можно рассматривать как сбор информации о состоянии объекта, преобразование исходных данных в удобную для регистрации форму, анализ и принятие решений о выполнении последующих операций или о дальнейшем использовании объекта.

Схему последовательности технологических операций вибродиагностики можно представить следующим образом.

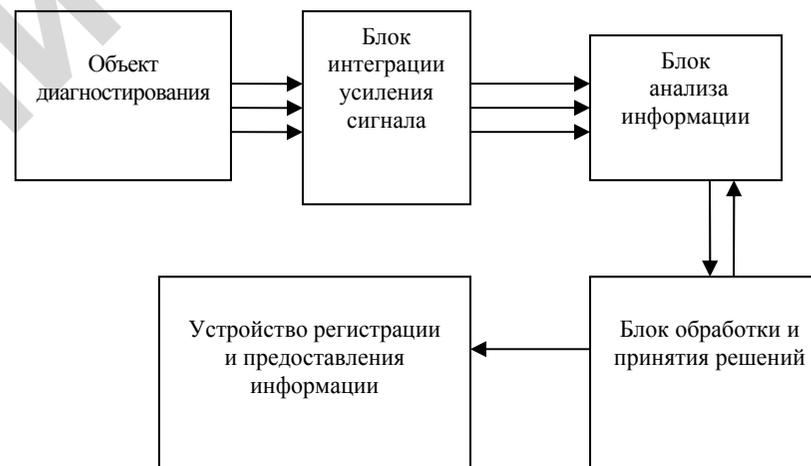


Рисунок 14.1 – Последовательность технологических операций вибродиагностики

Основной задачей вибродиагностики является определение дефектов ЭД по характеристикам вибрационного сигнала – диагностическим признакам (ДП).

С этой целью разрабатывается большое количество специального диагностического оборудования (СДО) для виброконтроля и вибродиагностики, отличающееся друг от друга конструктивным

исполнением, методами и средствами реализации распознавания отдельных дефектов ЭД.

Как известно, в процессе вибродиагностики определяются два возможных состояния ЭД по вибрационным показателям – исправен и неисправен. Для описания исправного состояния вводятся понятия эталона и границы области исправных состояний. Построение эталонов производится на основе анализа амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) определенной выборки электродвигателей, изготовленных в строгом соответствии со всеми требованиями технологии, с применением теории вероятностей и математической статистики.

Диагностируемый ЭД считается исправным, если его АЧХ вибрации не выходит за границу области исправного состояния АЧХ эталона. В противном случае ЭД считается неисправным и подлежит диагностике для выявления источников повышенной вибрации. Эталонные АЧХ определяются при номинальном напряжении питания ЭД с вентилятором и кожухом, при номинальном U питания ЭД без вентилятора и кожуха, при пониженном на 30 % U питания ЭД с вентилятором и кожухом. За основу принимается качественная диагностика ЭД – спектральный анализ и распознавание дефектов, с учетом заранее установленных наборов частот и рассматриваемых дефектов.

Для вибродиагностики ЭД подвешивают на резиновых амортизаторах, обеспечивающих изоляцию от внешних воздействий. Анализ производится на частотах, Гц:

частота для регистрации дефекта от дисбаланса ротора:

$$f_1 = \frac{n}{60}, \quad (14.1)$$

где n – частота вращения ротора, мин;

для регистрации дефекта от радиального зазора в подшипниках:

$$f_2 = \frac{n}{60} \left(1 - \frac{d_m}{D_o} \right) \frac{Z_m}{2}, \quad (14.2)$$

где d_m – Ø шариков, м;

D_o – окружность центров шариков, м;

Z_m – количество шариков в подшипнике;

для регистрации дефекта от овальности колец:

$$f_3 = 2n/60; \quad (14.3)$$

для регистрации дефекта от овальности тел качения:

$$f_4 = \frac{1}{2} \frac{D_o Z_m}{d_m} \left(1 - \frac{d_m^2 D_o}{z_m} \right) \frac{n}{60}; \quad (14.4)$$

для регистрации дефекта от локальных дефектов на дорожке качения наружного контактного кольца подшипника:

$$f_5 = \frac{Z_m}{2} K_1 \left(1 - \frac{d_m}{D_o} \right) \frac{n}{60}, \quad (14.5)$$

где K_1 – число дефектов на дорожке качения наружного контактного кольца;

$$f_6 = \frac{Z_m}{2} K_1 \left(1 + \frac{d_m}{D_o} \right) \frac{n}{60}, \quad (14.6)$$

где K_2 – число дефектов на дорожке качения внутреннего кольца;

для регистрации дефекта сборки подшипниковых узлов (перенос и несоосность колец):

$$f_7 = K_3 \frac{1}{2} \left(1 \pm \frac{d_m}{D_o} \right) \frac{n}{60}, \quad (14.7)$$

где K_3 – число гармонических вибраций;

для регистрации дефекта от неравномерности воздействия зазора:

$$f_8 = \left[\frac{K_4 Z_2 \pm 1}{P} (1 - S) + 2 \right] \cdot f_0, \quad (14.8)$$

где K_4 – любое целое число $\pm 1, \pm 2 \pm 3$;

Z_2 – число пазов ротора;

S – усилие скольжения;

f_0 – частота сети, Гц;

для регистрации дефекта от асимметрии питающего тока:

$$f_9 = 2f; \quad (14.9)$$

для регистрации дефекта от аэродинамических дефектов и дисбаланса вентиля:

$$f_{10} = \frac{n}{60}. \quad (14.10)$$

Эта методика анализа имеет ряд недостатков:

- построение эталонной АЧХ для ЭД всех исполнений – трудоемкая работа и требует высокой квалификации оператора;
- закрепление ЭД на резиновой подвеске, датчика на лапах или подшипниковых щитах требует времени и не обеспечивает достаточной точности;
- снятие действительной АЧХ и ее сравнение с эталоном и выявление диагностического признака – трудоемкая задача, требующая высокой квалификации оператора и дорогостоящих средств измерений.

Предложен ряд конструктивных стенов для вибродиагностики, но они непригодны из-за ряда существенных недостатков.

При вибродиагностике ЭД определяются:

- уровни отдельных составляющих спектров вибрации;
- отображаются случайные колебания деталей;
- параметры изменения колебаний во времени;
- характеристики амплитудной и частотной модуляции колебаний;
- частоты собственных колебаний отдельных элементов ЭД;
- геометрические погрешности изготовления.

Системы измерения и анализа параметров вибрации

Системы представляют собой совокупность устройств, обеспечивающих изучение воздействия вибрации на различные объекты, отработку равнопрочных конструкций и т. д. Системы измерения и анализа вибрации могут быть:

- простейшие измерительные системы узкоцелевого назначения (применяются в полевых или цеховых условиях для оценочных измерений, имеют невысокую точность и ограниченные возможности, служат для измерения только отдельных параметров вибрации);

- измерительные многофункциональные системы (позволяют измерять параметры вибраций, производить анализ, получать гистограммы, диаграммы и зависимости);

- аналого-цифровые (различные виды анализа и измерений);
- автоматизированные на базе ЭВМ (для оперативной обработки вибрационных сигналов, для обработки сигналов и выдачи сигнальной корреляции с ЭВМ в цепи ОС).

В настоящее время используются следующие методы изоляции от внешней вибрации: маятниковая подвеска, резиновые блоки, резиновые втулки и др.

В НИИ электромашиностроения (г. Ереван) разработана рабочая документация на вибродиагностику ЭД с высотами осей вращения 45–63 мм общего применения и создан вибростенд, определяющий дефекты изготовления и сборки:

- дисбаланс вращающегося ротора;
- дефекты изготовленных подшипников;
- дефекты сборки подшипниковых узлов;
- неравномерность зазора между статором и ротором;
- асимметрию питающего напряжения;
- дисбаланс охлаждающего вентилятора.

Принцип действия вибродиагностической установки основан на преобразовании механических колебаний в электрический сигнал, с последующим измерением и индикацией этого сигнала контрольными измерителями и диагностическими приборами.

Установка позволяет производить виброконтроль и вибродиагностику по пяти основным признакам: дисбаланс ротора, дефекты подшипникового узла, дефекты от магнитных причин, дефекты аэродинамического происхождения, неравномерность воздействия зазора.

Пределы измерений по общему уровню, дБ:

виброскорости – 75–130, приведенной скорости – 55–110, (абсолютная погрешность $\pm 1,5$ дБ); диапазон измерения рабочих частот, Гц – 8–8000, собственная частота – 4–5 Гц и др.

Методы определения уровня вибраций и величин биения

Методы определения уровня вибраций. Для оценки вибрации электрических машин согласно ГОСТ 12379 основной измеряемой величиной является эффективное значение вибрационной скорости V , которая определяется в диапазоне от рабочей частоты до 2000 Гц. В ряде случаев дополнительно требуется проведение спектрального анализа, а если в диапазон измерения входят частоты свыше 2000 Гц, то необходимо определить и вибрационное ускорение a (м/с^2).

При наличии данных по спектральному анализу эффективное значение вибрационной скорости (мм/с^2) можно определить по формуле:

$$v_3 = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_{3i}^2}, \quad (14.11)$$

где v_{3i} — эффективное значение вибрационной скорости, полученное при спектральном анализе для i -й полосы фильтра.

Результаты измерений вибрационной скорости и вибрационного ускорения могут быть выражены в децибелах относительно условных базовых значений скорости и ускорения. При этом базовое значение вибрационной скорости $v_0 = 5 \times 10^{-5}$ мм/с, а базовое значение вибрационной скорости $a_0 = 3 \times 10^{-4}$ м/с². Для перевода вибрационных ускорений и скоростей из абсолютных величин в децибелы разработаны соответствующие таблицы.

В качестве измерительной аппаратуры используются виброизмерительные приборы с виброизмерительными датчиками, а также октавные и трехоктавные фильтры. Применяются также анализаторы гармоник.

В испытываемых электрических машинах предусматривают места для установки измерительных датчиков, которые жестко крепятся к испытываемой электрической машине или к дополнительной массе. Их масса не должна превышать 5 % массы электрической машины.

При определении вибраций рекомендуется применять упругую установку электрических машин. Если упругая установка невозможна, то допускается жесткая установка машины на фундаменте, при этом масса фундамента должна превышать массу испытываемой машины не менее чем в 10 раз. Машина должна устанавливаться в таком положении, в котором она эксплуатируется, а если она пред-

назначена для работы в разных положениях, ее следует испытывать при горизонтальной установке.

Упругая установка машины требует применения ряда приспособлений, масса которых, называемая дополнительной массой, не должна превышать 0,1 массы электрической машины.

Для описания точек измерения вибрации выберем взаимно перпендикулярные оси координат: z — в направлении оси вращения электрической машины, y — ось в направлении, перпендикулярном установочной плоскости (для машины с лапами), x — горизонтальная ось для горизонтальных фланцевых машин.

Измерения вибраций производят при приемочных, периодических, типовых и приемо-сдаточных испытаниях. Вибрацию измеряют на подшипниковых щитах: по осям x , y , а также в направлении оси 2 (возможно, ближе к оси вращения); измерения проводятся также на лапах или на фланце машины в направлении, перпендикулярном опорной поверхности, в точках вблизи мест крепления машины. Для малогабаритных машин, у которых установка датчиков в указанных точках невозможна, можно переносить точки измерения на корпус машины вблизи подшипниковых щитов.

На рисунках 14.2–14.4 показаны для примера точки измерения и направления вибраций для трех, наиболее распространенных форм исполнения и степеней защиты электрических машин.

Спектральный анализ вибрации следует проводить в точке с максимальным значением вибрации.

Перед измерением вибраций электрические машины должны быть обкатаны. Испытания на внешние механические воздействия (вибрация, удар и т. п.) и на ресурс должны проводиться после измерения вибраций.

В зависимости от типа электрической машины, контроль вибрации проводится в разных режимах. Для электрических машин, на грузку которых можно осуществлять без механических соединений с приводными устройствами или рабочими механизмами (например, для электромашинных преобразователей), вибрацию следует измерять при работе машины с номинальной нагрузкой, для синхронных машин — в режиме перевозбужденного двигателя, при номинальном напряжении и номинальном токе статора; для всех остальных машин — в режиме холостого хода.

Контроль вибрации обычно производится при номинальной частоте вращения, а для машин с регулируемой частотой вращения — при номинальной и максимальной рабочих частотах вращения.

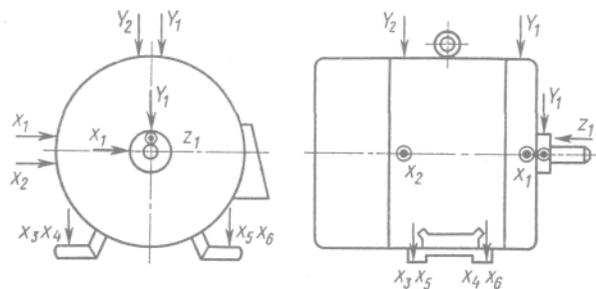


Рисунок 14.2 – Схема расположения точек измерения и направления вибраций для электрических машин формы исполнения M10, со степенью защиты IP44

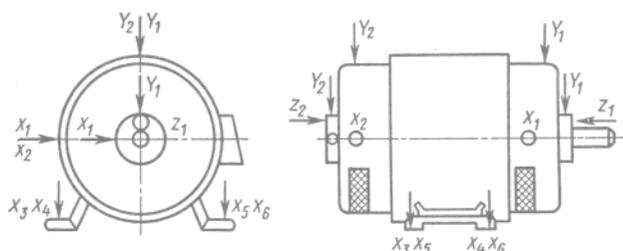


Рисунок 14.3 – Схемы расположения точек измерения и направления вибраций для электрических машин формы исполнения M10, со степенью защиты IP22

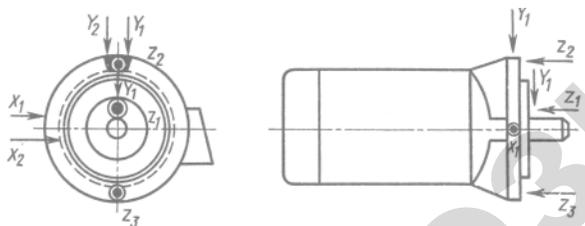


Рисунок 14.4 – Схемы расположения точек измерения и направления вибраций для электрических машин формы исполнения M30, со степенью защиты IP44

Методы определения величины биения. В электрических машинах величина биения вращающихся частей регламентируется для следующих деталей: коллектора, контактных колец, свободных

концов валов или насаженных на них шкивов, полумуфт и т. п. Измерительным инструментом служит стрелочный индикатор. Измерения проводят при медленном вращении измеряемой детали, чтобы исключить динамические явления.

Проверка величины биения коллектора обычно проводится как в холодном, так и в нагретом состояниях, непосредственно после испытания электрической машины при повышенной частоте вращения. Испытания в нагретом состоянии проводятся для проверки монолитности коллектора.

Требования к допустимым значениям биения коллекторов и контактных колец обычно устанавливаются в технической документации на изготовление электрических машин.

В последнее время разработаны различные виды вибродиагностического оборудования: устройства вибродиагностирования, виброанализаторы, вибропреобразователи и т. п. В качестве примера можно привести устройство балансировочное электрических машин и механизмов УБ-3, которое предназначено для измерения среднеквадратичного значения виброскорости, частоты вращения вала, определения места для установки балансировочного груза при проведении динамической балансировки.

Индикатор балансировки роторов вращения машин ИБР-01 предназначен для контроля вибрации вращающихся машин, динамической балансировки их роторов в собственных подшипниках и обеспечивает оценку интенсивности вибрации машин, определение параметров (виброскорости и частоты вращения), необходимых для расчета величины корректирующей массы, указания места ее установки.

Виброанализаторы – приборы для измерения вибрации, а также проведения вибро- и параметрической диагностики неисправностей непосредственно на объектах с помощью диагностических программ, установленных в память приборов или на компьютере.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит сущность процесса вибродиагностирования?
2. Какие приборы и оборудование используются для вибродиагностики?
3. Назовите системы измерения и анализа параметров вибрации.
4. Укажите методы определения уровня вибраций и величины биения.

Тема 15. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

План

Принципы автоматизированного диагностирования электрооборудования. Приборный учет и аппаратное обеспечение энергетических измерений. Встроенные средства самодиагностирования. Дистанционное измерение температуры как средство диагностики. Диагностирование качества электрической энергии. Прогнозирование технического состояния электрооборудования.

15.1. Автоматизация испытаний электрических машин и применение ЭВМ

Эффективность автоматизации испытаний. При серийном и массовом производстве естественно стремление максимально автоматизировать производственный процесс, который включает в себя и этап испытания электрических машин. Исследования показали, что трудоемкость контрольных операций составляет до 13 % трудоемкости изготовления электродвигателей. Средние нормы времени на проведение приемо-сдаточных испытаний одной электрической машины средней мощности составляют 3–35 ч (для разных типов машин). На проведение приемочных испытаний одной электрической машины требуется 48–250 ч. Средние нормы времени на обработку результатов приемо-сдаточных испытаний одной машины составляют 0,6–4 ч, а на обработку приемочных испытаний — 40–90 ч [10]. Естественно, что столь высокая трудоемкость проведения испытаний и обработки их результатов заставляет искать пути автоматизации испытаний и использования ЭВМ.

Автоматизация испытаний электрических машин позволяет получить объективные и достоверные результаты испытаний, ускорить проведение контрольных измерений и повысить производительность труда.

ЭВМ используются не только для обработки результатов испытаний, но и при управлении процессом испытаний, статистическом контроле и анализе результатов испытаний (не только при выборочном, но и при сплошном контроле).

Автоматизация приемо-сдаточных испытаний. Из всех видов электрических машин наибольший объем выпуска имеют асинхронные низковольтные двигатели. Поэтому, в первую очередь, был автоматизирован процесс испытаний асинхронных двигателей. С этой це-

лью разработаны и внедрены на всех электромашиностроительных заводах типовые проекты испытательных конвейеров.

Для контроля обмоток статоров асинхронных двигателей применяется автоматизированная станция, которая состоит из станины с многопозиционной вращающейся планшайбой. На планшайбе предусмотрены плиты для установки испытываемых статоров и устройства, задающие программу испытаний.

Процесс испытания статоров осуществляется следующим образом. В автоматическом режиме измеряется активное сопротивление обмотки и проверяется правильность маркировки выводных проводов, испытывается изоляция обмоток на электрическую прочность относительно корпуса и между обмотками, импульсным напряжением испытывается межвитковая изоляция. Производительность испытательной станции — 100–120 статоров в час.

Для проведения приемо-сдаточных испытаний асинхронных двигателей применяют конвейерные испытательные станции двух видов и универсальные испытательные стенды. Станция представляет собой замкнутый прямолинейный транспортный конвейер со встроенными механизмами и электрооборудованием. На конвейерной станции автоматически производятся следующие операции: контроль обрыва обмоток двигателя, контроль сопротивления изоляции обмоток двигателя относительно корпуса и между обмотками, обкатка двигателя при номинальном напряжении, испытание межвитковой изоляции при напряжении 1,3 $U_{н}$, контроль тока и потерь холостого хода и короткого замыкания, испытание изоляции обмоток на электрическую прочность относительно корпуса и между обмотками.

В процессе испытаний электродвигатели автоматически отбраковываются. Производительность станции — 100–120 электродвигателей в час.

В автоматизированный комплекс контроля входит и установка для контроля вибраций электродвигателей. Она состоит из стенда, с приспособлениями для установки и присоединения испытуемого электродвигателя, механизма подъема и спуска, конусных вибропор с вибропреобразователями, панелью управления, шкафа управления с виброизмерительными приборами, аппаратурой управления, блоками защиты и сравнения, плавного разгона и торможения, источника питания с регулируемым напряжением. Контроль вибрации осуществляется автоматически. Измерения производятся в двух точках под подшипниковыми щитами. Сигналы вибропреобразователей поступают на вход

электронного блока сравнения. Производительность установки контроля вибрации — от 85 тыс. до 200 тыс. электродвигателей в год.

Автоматизация приемочных и типовых испытаний. Известны и с успехом применяются автоматизированные установки для испытаний электрических машин с использованием ЭВМ. Блок-схема одной из таких установок, используемых для приемочных или периодических испытаний асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором малой мощности, с высотой оси вращения 50 мм, приведена на рисунке 15.1.

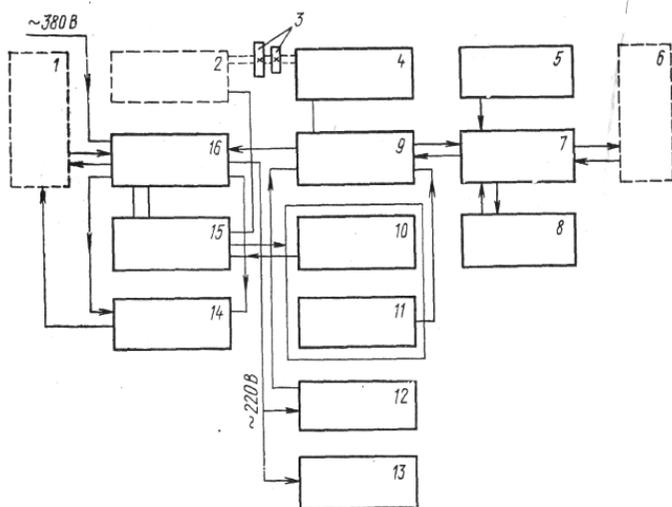


Рисунок 15.1 – Блок-схема установки для проведения приемочных или периодических испытаний асинхронных двигателей малой мощности с высотой оси вращения 50 мм:

- 1 — индукционный регулятор; 2 — испытуемый электродвигатель; 3 — маховые массы; 4 — преобразователь частоты вращения; 5 — фотосчитыватель; 6 — графопостроитель; 7 — электронно-вычислительная машина; 8 — электрифицированная пишущая машина; 9 — блок обработки; 10 — блок силовой; 11 — датчики тока и напряжения; 12 — блок питания; 13 — блок вентиляции; 14 — блок управления индукционным регулятором; 15 — блок управления испытуемым двигателем; 16 — блок коммутации

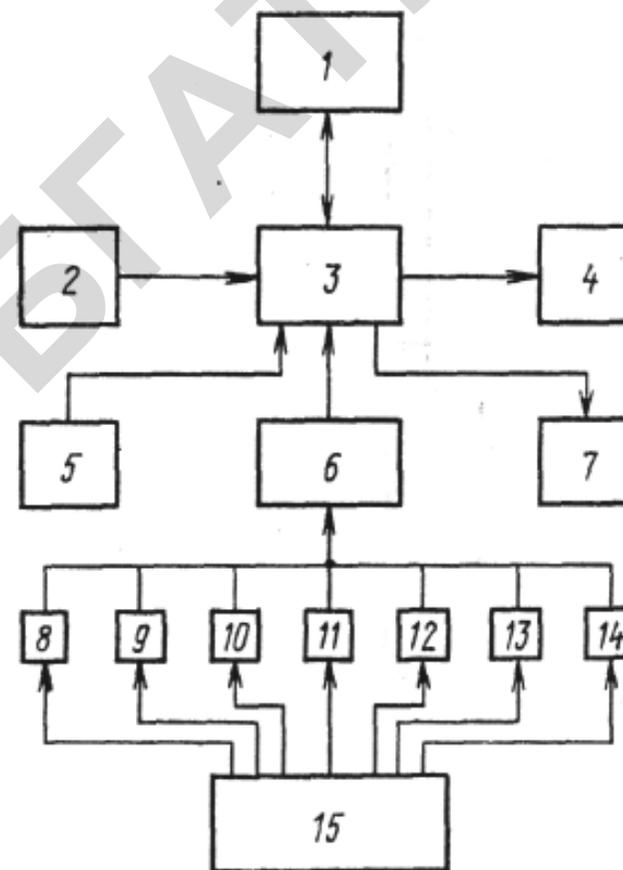


Рисунок 15.2 – Блок-схема автоматизированной станции для типовых, приемочных и периодических испытаний асинхронных двигателей от 0,5 до 5,5 кВт:

- 1 — диспетчерский пульт; 2 — алфавитно-цифровой дисплей; 3 — ЭВМ; 4 — печатающее устройство; 5 — устройство ввода с перфоленты; 6 — устройство сопряжения с объектом; 7 — графопостроитель; 8 — датчик переменного напряжения; 9 — датчик постоянного напряжения; 10 — датчик напряжения переменного тока; 11 — датчик активной мощности; 12 — датчик реактивной мощности; 13 — датчик частоты; 14 — датчик оборотов; 15 — испытываемая электрическая машина

На установке автоматизированные испытания электродвигателя проводятся по следующей программе: измерение сопротивления обмоток; снятие характеристики короткого замыкания, механической и рабочей характеристики и характеристики холостого хода.

Испытуемый двигатель 2 закрепляют на нагрузочной установке, предназначенной для совмещения вала двигателя с осью маховых масс 3, создающих динамическую нагрузку. Вал двигателя соединяется также с валом датчика частоты вращения.

Конвейерные автоматические станции типа КД2-8 предназначены для испытаний асинхронных двигателей с высотами оси вращения 71–100 мм. Технические данные этой станции: время цикла – 30 с; установленная мощность – 240 кВт·А; габаритные размеры – 8520Х3000Х3400 мм.

Полученные на описанном автоматическом испытательном конвейере результаты приемо-сдаточных испытаний могут быть подвергнуты анализу с помощью ЭВМ с целью управления технологическим процессом.

Снятие механических и рабочих характеристик производят в процессе разгона электродвигателя. При этом сопротивление обмоток соответствует установившейся температуре, полученной при испытании «на нагревание». Эта температура достигается автоматически, в режиме короткого замыкания. Для проведения опыта холостого хода электродвигатель отсоединяют от маховых масс.

Электронно-вычислительная машина (ЭВМ) в соответствии с записанной программой осуществляет управление испытательным комплексом, переводит испытуемый электродвигатель в различные испытательные режимы, коммутирует измерители, принимает информацию от измерителей электрических и неэлектрических величин, осуществляет необходимые вычисления и выдает обработанную информацию на печать. Измеритель электрических величин посылает через соответствующие блоки в ЭВМ мгновенные значения измеряемых величин через равные промежутки времени с большой частотой. В ЭВМ эти данные обрабатываются и выдаются на электрифицированную пишущую машину 8 или на графопостроитель. Для построения кривых используются действующие значения измеренных электрических величин.

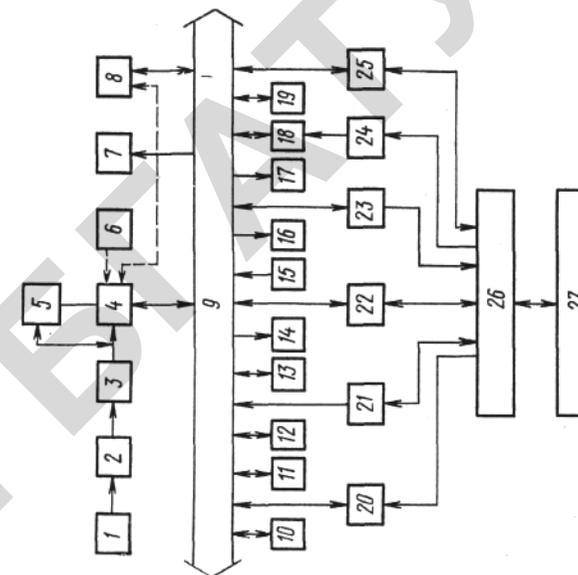


Рисунок 15.3 – Блок-схема АСИ синхронных машин средней мощности: 1 — накопитель на магнитных дисках (НМД); 2 — канал прямого доступа в память; 3 — основное оперативное запоминающее устройство (ОЗУ); 4 — процессор; 5 — диспетчер; 6 — дополнительное ОЗУ; 7 — графопостроитель (ГП); 8 — магнитограф; 9 — общая шина; 10 — дополнительный НМД; 11 — накопитель на магнитной ленте; 12 — алфавитно-цифровое печатающее устройство; 13–15 — устройство ввода-вывода с перфолент и перфокарт; 16 — алфавитно-цифровой дисплей (АЦД); 17 — консоль оператора; 18 — мини-ЭВМ; 19 — устройство связи (УС); 20, 21 — малоканальные подсистемы аналогового и дискретного ввода АКБ-АД; 22, 23 — малоканальные подсистемы аналогового и дискретного ввода АКБ-АД; 24 — аналого-цифровые преобразователи (АЦП); 25 — подсистема интегрирования; 26 — датчики, приборы, пульт управления; 27 — испытуемая электрическая машина

На рассмотренной автоматизированной установке, разработанной НИИ «Электромаш» г. Еревана, приемочные или типовые испытания одного двигателя без графопостроения занимают 15 мин, а с графопостроением — 40 мин.

Автоматизированная станция для приемочных, типовых и периодических испытаний разработана также для асинхронных дви-

гателей большей мощности (от 0,5 до 5,5 кВт). Процесс автоматизации испытаний проводится в два этапа. Цель первого этапа — повышение точности определения характеристик электродвигателей и сокращение малопроизводительного труда. На этом этапе проводят испытания двигателей «на нагревание» и определяют сопротивление обмоток при постоянном токе и в холодном состоянии, характеристики холостого хода, рабочие, короткого замыкания и механическую, а также вероятность безотказной работы.

На втором этапе операции снятия показаний приборов заменены обработкой информации на мини-ЭВМ (рисунок 15.2). В качестве датчиков тока, напряжения, активной и реактивной мощности выбраны преобразователи типов Е-824, Е-827 и Е-849.

Для проведения испытаний электродвигателей на описанной станции требуется только один оператор. Станция используется на производственном объединении «Запэлектромаш».

Система автоматизированных испытаний (АСИ) синхронных машин средней мощности (рисунок 15.3) позволяет проводить испытания синхронных машин по специальной программе.

Для реализации АСИ разработан ряд алгоритмов и программ, в т. ч. аналитическое описание характеристики холостого хода, определение параметров синхронной машины с использованием диаграммы Потье, определение потерь и КПД, определение переходных и сверхпереходных параметров из опыта внезапного короткого замыкания (в. к. з.), определение гармонических составляющих сложных периодических функций и др.

Следует отметить, что аналогичные системы автоматизированных испытаний широко применяются за рубежом (США, ФРГ, Великобритания и др.).

15.2. Приборный учет и аппаратное обеспечение энергетических измерений

Приборный учет и аппаратное обеспечение диагностических измерений используются для получения отсутствующей информации, необходимой для оценки технического состояния энергетического оборудования, зданий и сооружений, а также эффективного использования энергетических ресурсов. В данной процедуре определяются непосредственно или косвенно количественные и качественные значения состояния энергетического оборудова-

ния, зданий и сооружений, используемых энергоресурсов и окружающей среды.

Для определения термического сопротивления зданий и сооружений, температурного режима высоконагруженных и труднодоступных узлов технологического оборудования проводятся термографические исследования при помощи тепловизоров ТН-5104R NEC, АGЕМА-550 или термографа типа «Иртис-2000».

При проведении теплотехнических измерений используются приборы непосредственной оценки, где измеряемая величина определяется по отсчетному устройству измеряемого прибора прямого действия. Тепловизионная техника широко используется для диагностики состояния электрического оборудования. Современные тепловизоры позволяют регистрировать перегрев до 0,1 °С, и, соответственно, осуществлять контроль электрооборудования при относительно малом токе, например, ниже 2–5 % номинального значения.

Преимуществом тепловизионного контроля является проведение испытаний непосредственно в процессе эксплуатации.

Измерения в котельных и компрессорных станциях производятся при помощи теплотехнических измерительных приборов, штатно установленных в технологических схемах котельных и шкафах автоматического управления компрессорных станций.

Для измерения:

- температуры скоростей газовых и воздушных потоков используются соответственно хромель-копелевые термопары в защитных кожухах, стеклянные жидкостные термометры типа ТЛ-4 и трубка Пито;

- относительной влажности окружающего воздуха и состава газовой среды, в т. ч. уходящих дымовых газов, применяются, соответственно, аспирационные переносные психрометры МВ-4М и химические переносные газоанализаторы ГПХ-3М, комбинированные приборы «Testo-325-l», «Testo-300 XL-1»;

- термо ЭДС – используется автоматический цифровой прибор Digital Multimeter М-838;

- относительной влажности и температуры воздуха может быть использован цифровой прибор «Testo-635»;

- инфракрасный термометр «Кельвин» – для бесконтактного экспресс-контроля температуры энергооборудования, технологических установок, электрических кабелей и т. п.

При диагностировании также используются приборы:

- а) многофункциональные:
- «Testo-400» – для измерения температуры и скорости воздуха, давления, скорости вращения и всех параметров влажности;
 - «Testo-445» – для систем вентиляции и кондиционирования;
- б) специального назначения:
- «Testo-230/240» – для точного измерения pH;
 - «Testo-815/816» – для определения источника и уровня шума;
 - «Testo-545» – для измерения уровня освещенности;
 - «Testo-318» – для просмотра скрытых и труднодоступных мест;
 - «Testo-476» – как комплект оптический бесконтактный в виде стробоскопа и тахометра;
 - «Testo-512» – для измерения давления в системах вентиляции и др.
- Для оперативного проведения энергетических обследований организаций и предприятий и обработки данных рекомендуются следующие средства и приборы.
1. Мобильное транспортное средство (микроавтобус типа «Газель») – 1 шт.
 2. Тепловизор TH-5104R NEC, или AGEMA-550, или термограф типа «Иртис-2000» – 1 комп.
 3. Расходомер «Взлет ПР» в комплекте с ультразвуковым толщиномером или «Капех-Krone» – 1 комп.
 4. Газоанализатор «Testo-300 XL» или «Testo-300 M-l» – 1 комп.
 5. Пирометр «Testo 825-T4» – 1 комп.
 6. Люксметр – УФ – радиометр или «Testo-545» – 1 комп.
 7. Энергомонитор 3.3 «оптимальный» или «Cikytor» – 1 комп.
 8. Термоанемометр «Testo-435» – 1 комп.
 9. Измеритель токов «NANOVIR POWER METR» – 1 комп.
 10. Детектор утечки «SRM Instrument» – 1 комп.
 11. Измеритель концентрации RH «KM 8004» – 1 комп.
 12. Определитель концентрации твердых частиц в отходящих газах «Гравимат-SHC 502» – 1 комп.
 13. Определитель теплоты сгорания топлива «Калориметр – Part 6200» – 1 комп.
 14. Тахометр – 1 шт
 15. ПЭВМ «АЙБЕН» AMD ATHLON 3200/ASUS ASUS M2N-MX/DIMM 512MB PC5300/3,5" FDD SAMSUNG/DVD-RW NEC/SAM – 1 комп.
 16. LGFLL 1952SBF Flatron L 1952S BF 19" ЖКИ монитор – 1 шт.

17. Многофункциональное устройство HP Color Laser Jet 2820 – 1 шт.
18. Факсимильный аппарат FLB-853 RU – 1 комп.
19. Видеопроектор «NEC VT 590G» – 1 шт.
20. RH538EA HP Compaq nx 9420 T5600 17,0 1024/100 PC ноутбук – 1 шт.
21. Видеокамера «Sony DRC-DVD205E» – 1 шт.

Устройство диагностирования технического состояния электродвигателей

В настоящее время для диагностирования асинхронных двигателей (АД) применяются как простые приборы, так и сложные измерительные комплексы отечественного и зарубежного производства. Наиболее доступные – это индикаторы, мегомметры, токовые клещи и т. д. Более сложными приборами являются комбинированные многофункциональные аналоговые и цифровые приборы: тестеры, мультметры. С их помощью контролируется ряд параметров: мегомметром – сопротивление, ваттметром – мощность, вольтметром – напряжение и т. д. Реже для диагностирования асинхронного двигателя используются осциллографы, анализаторы, частотомеры, позволяющие осуществлять контроль параметров на более высоком качественном уровне.

Предлагаемые сегодня отечественными разработчиками новые приборы по своей сути являются модернизацией более ранних работ с целью улучшения их метрологических характеристик – повышения класса точности, быстродействия, а также введения дополнительных сервисных функций (программирования, оперативной памяти, мультиплексирования и т. д.). Разрабатывая приборы, как правило, стационарного применения, необходимо иметь в виду, что они не универсальны, сложны в эксплуатации, за счет высоких метрологических параметров имеют высокую стоимость.

В Республике Беларусь система комплексного диагностирования технического состояния электродвигателей не разработана. Поэтому целью работы в республике являлось создание автоматизированного устройства для оценки состояния АД, позволяющего делать выводы о предотвращении отказов, восстановлении его работоспособности и повышении срока службы.

Специалистами РУП «Институт энергетики АПК НАН Беларуси», ГУ «НИПТИ «Хлебопродукт» в 2004–2005 гг. такое устройство было разработано, изготовлено, проведены его приемочные испытания. Его

технические характеристики приведены в таблице 15.4, а функциональная схема – на рисунке 15.4.

Таблица 15.4 – Технические характеристики

Количество измерительных каналов, шт	8
Количество каналов изменения напряжения, шт	3
Диапазон измерения напряжения, В	0-400
Количество каналов измерения тока, шт	3
Приведенная погрешность измерения напряжения, %	1
Диапазон измерения тока, А	0-400
Приведенная погрешность измерения тока, %	1,5
Количество датчиков температуры, шт	0-8
Диапазон измерения температуры, °С	до -30
Абсолютная погрешность измерения температуры, С	0,5
Количество каналов измерения частоты вращения, шт	1
Диапазон измерения частоты вращения, об/мин	0-3000
Количество каналов измерения сопротивления обмоток	1
Диапазон измерения сопротивления обмоток., Ом	0-1000
Количество каналов измерения сопротивления изоляции обмоток	1
Диапазон измерения сопротивления изоляции, МОм	0,5-20
Масса, кг	не более 15
Габаритные размеры, мм:	
- длина	600
- ширина	500
- высота	200
Вид связи с ПЭВМ	K8232

При диагностировании измеряются и заносятся в энергонезависимую память следующие параметры:

- коэффициент искажения синусоидальности формы кривой напряжения K_U ;
- коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;

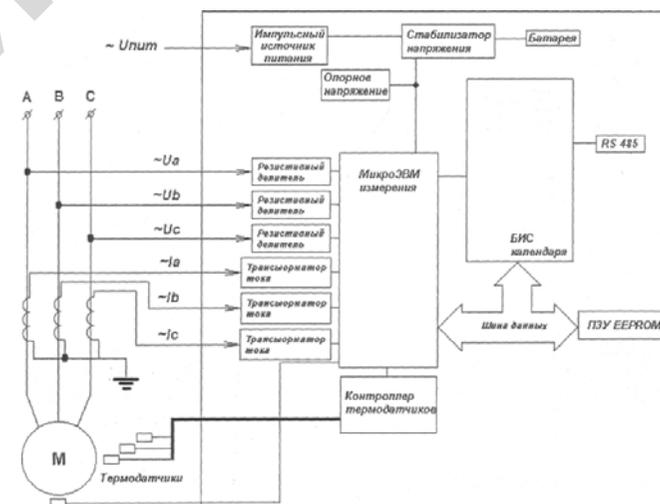
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- отклонение частоты Δf ;
- активная мощность;
- коэффициент мощности;
- действующее значение фазных напряжений;
- действующее значение фазных токов;
- температура по каждому датчику;
- частота вращения.

Дополнительные параметры диагностирования:

- сопротивление обмоток двигателя постоянному току;
- сопротивление изоляции.

Снимается так же форма кривой напряжения. Это необходимо для того, чтобы оценить исправность обмотки ротора АД.

После снятия диагностических параметров проводится их анализ.



Датчик частоты вращения

Рисунок 15.4 – Функциональная схема автоматизированного устройства диагностирования

Для управления автоматизированным устройством диагностирования и обработки измеренных данных разработан пакет программного обеспечения.

15.3. Диагностирование качества электрической энергии

Основные требования к качеству электрической энергии изложены в ГОСТ 13109. Кроме того, существует документ РД 153-34.0-15.501-00, который устанавливает основные положения по контролю качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 13109 и является своего рода дополнением к нему.

Основополагающим документом является ГОСТ 13109 (введен в действие 01.01.99) вместе с приложениями А, Б, В, Г, Д. Документ дает основные понятия о качестве электроэнергии (далее – КЭ), показателях и нормах КЭ, устанавливает требования к погрешностям измерений КЭ, разъясняет свойства электрической энергии, а также определяет наиболее вероятных виновных в нарушениях КЭ.

В приложении "Е" в крайне сжатом виде указаны основные требования к цифровым средствам измерения показателей качества электроэнергии (далее в тексте — регистратор ПКЭ или РПКЭ).

ГОСТ 13109, п. 4.1 определяет 11 основных показателей качества электроэнергии:

- установившееся отклонение напряжения δU_v , %;
- размах изменения напряжения, δU_t , %;
- доза фликера, отн. ед. (кратковременная, длительная), P_i ;
- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_u , %;
- коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения $K_u(n)$, %;
- коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_2u , %;
- коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0u} , %;
- отклонение частоты Δf , Гц;
- длительность провала напряжения Δt_p , с;
- импульсное напряжение $U_{имп}$, кВ;
- коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$, отн. ед.

Кроме того, при определении значений некоторых показателей КЭ используют следующие вспомогательные параметры электроэнергии:

- частота повторения изменений напряжения $F_{\delta U_i}$;
- интервал между изменениями напряжения Δt_{i+1} ;
- глубина провала напряжения $\delta U_{п}$;
- частота появления провалов напряжения $F_{п}$;

- длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{имп0,5}$;
- длительность временного перенапряжения $\Delta t_{перU}$.

Для мониторинга показателей качества электроэнергии разработаны метрологическое оборудование и различные приборы. В качестве примера можно привести следующие новые разработки.

1. Устройства контроля параметров качества электрической энергии УК1 и УК2, представляющие собой высокоточные измерительные приборы, построенные на основе современных цифровых технологий.

2. Прибор измерения параметров электрических сетей МИЦ-1 предназначен для измерения основных показаний качества электроэнергии, мониторинга электрических сетей и аварийного осциллографирования.

3. Электромонитор 3.3Т – переносной эталонный счетчик, анализатор качества электрической энергии.

Из зарубежных разработок следует отметить стационарный регистратор качества электроэнергии «Парма ПК 3.02» и энерготестер ПЭМ-02 – многофункциональный прибор энергетика (г. Санкт-Петербург).

15.4. Прогнозирование технического состояния электрооборудования

Прогнозирование технического состояния электрооборудования, т. е. процесс предсказания изменения параметров в будущем, является трудной технической задачей. Это связано с тем, что на техническое состояние даже однотипных деталей и узлов электрооборудования влияет сочетание большого количества факторов, часть из которых трудно учесть, что приводит к старению и износу. Основной задачей прогнозирования является определение остаточного ресурса элементов электрооборудования. Определение остаточного ресурса позволяет объективно установить момент необходимости ремонтного воздействия, с целью наиболее полного использования ресурса деталей и узлов, что позволяет спрогнозировать техническое состояние объекта с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени. Таким образом, прогнозированием технического состояния объекта может быть определен с заданной вероятностью интервал времени (ресурс), в течение которого сохраняется его работоспособность на заданный интервал времени.

Для ориентировочного сравнения технического состояния элементов диагностируемой машины или аппарата, которые характеризуются различными диагностическими параметрами, можно пользоваться понятием коэффициента технического ресурса. С помощью этого коэффициента оценивают остаточный ресурс детали, сопряжения или узла. Для параметров, абсолютные значения которых увеличиваются в процессе эксплуатации оборудования, коэффициент технического ресурса вычисляется по формуле:

$$k_{\text{ост}} = (\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{п}}) / (\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}), \quad (15.1)$$

где $\Pi_{\text{п}}$ – предельное значение параметра; $\Pi_{\text{н}}$ – номинальное значение параметра; $\Pi_{\text{п}}$ – измеренное значение параметра.

Если в процессе эксплуатации значение параметра уменьшается, то коэффициент остаточного ресурса определяется выражением:

$$k_{\text{ост}} = (\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{п}}) / (\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{н}}). \quad (15.2)$$

Для нового элемента узла или машины $k_{\text{ост}} = 1$, а для полностью исчерпавших ресурс – $k_{\text{ост}} = 0$. С наибольшей точностью коэффициент ресурса характеризует техническое состояние объекта диагностирования, когда измеряемый диагностический параметр изменяется в процессе эксплуатации по линейному закону.

В литературе описаны различные методы, применяемые при прогнозировании технического состояния радиоэлектронной аппаратуры, автомобилей и других машин и механизмов. Ниже приведено описание наиболее простых методов прогнозирования, которые используют при прогнозировании ресурса работы электрооборудования. Эти методы не требуют применения сложного математического аппарата.

Метод линейного прогнозирования

Из всех методов метод линейного прогнозирования является самым простым, так как в его основу положено допущение, что в процессе эксплуатации внешние воздействия на диагностируемый элемент, узел, машину или аппарат являются неизменными, а зависимость изменения величины диагностического параметра от времени – линейная. Для применения метода необходимо иметь данные о наработке объекта с начала эксплуатации до момента диагностирования, а также о предельном и номинальном значениях параметра.

Наработку объекта диагностирования до наступления предельного состояния $t_{\text{ост}}$ определяют по формуле:

$$t_{\text{ост}} = t \frac{k_{\text{ост}}}{1 - k_{\text{ост}}}, \quad (15.3)$$

где t – наработка от начала эксплуатации до момента диагностирования, ч; $k_{\text{ост}}$ – коэффициент остаточного ресурса, определяемый из выражений 15.1 и 15.2.

Метод обычно применяют для ориентировочного определения остаточного ресурса деталей и узлов.

Метод многоступенчатого линейного прогнозирования

Метод базируется на данных измерений, проводимых при систематических диагностированиях через какие-либо промежутки времени. Определение срока безотказной работы диагностируемых по этому методу элементов или узлов проводится до следующего диагностирования. Метод многоступенчатого линейного прогнозирования учитывает действительную закономерность изнашивания или старения объекта диагностирования в данных конкретных условиях эксплуатации. Кроме того, при прогнозировании на период до следующего диагностирования принимается как данность, что объект диагностирования будет работать в более неблагоприятных условиях, в связи с чем ресурс безотказной работы определяется по максимально возможной средней интенсивности изменения параметра за период между двумя последними диагностированиями. После следующего диагностирования вновь устанавливают гарантированный ресурс безотказной работы. Таким образом, проводят диагностирование до полного исчерпания ресурса объекта.

Метод многоступенчатого линейного прогнозирования не требует данных о наработке и изменении величины параметра с начала эксплуатации электрической машины или аппарата. В результате линейной аппроксимации и экстраполяции изменения параметров на некоторый промежуток времени получают величину периода безотказной работы всегда меньше действительного, т. е. всегда резервируется определенный запас надежности результатов прогноза.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

Гарантированный ресурс безотказной работы деталей узлов и сопряжений, техническое состояние которых характеризуется параметрами, имеющими линейные или криволинейные зависимости от времени работы, определяется из выражения:

$$t_{\text{гар}} = (\Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{и}}) / (\Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{и-1}}) t_o k_o, \quad (15.4)$$

где $t_{\text{гар}}$ – гарантированный ресурс безотказной работы, ед. наработки; $\Pi_{\text{п}}$ — предельное значение параметра; $\Pi_{\text{и}}$, $\Pi_{\text{и-1}}$ – измеренная величина параметра соответственно при данном и предыдущем диагностировании; t_o – период между данным и предыдущим диагностированием; k_o – корректирующий коэффициент.

$k_o = \frac{\Pi_{\text{и-1}}}{\Pi_{\text{и}}}$, если диагностический параметр увеличивается со временем,

$$k_o = (\Pi_{\text{нач}} + \Pi_{\text{п}} - \Pi_{\text{и-1}}) / \Pi_{\text{нач}}, \quad (15.5)$$

где $\Pi_{\text{нач}}$ – начальное значение параметра, если диагностирование параметров уменьшается.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите принципы автоматизированного диагностирования электрооборудования.
2. Какие существуют приборы и аппараты для диагностических измерений параметров электрооборудования?
3. Назовите средства дистанционного измерения температуры.
4. Что такое диагностирование качества электрической энергии?
5. Охарактеризуйте методы прогнозирования технического состояния электрооборудования.

1. *Бабицкий, В. В.* Планирование экспериментов : учебно-методическое пособие по проведению экспериментов и обработки полученных результатов / В. В. Бабицкий. – Минск: БНТУ, 2003. – 48 с.

2. *Гольдберг, О. Д.* Автоматизация контроля параметров и диагностики асинхронных двигателей / О. Д. Гольдберг. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.

3. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 01–07–90. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 37 с.

4. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. – Введ. 01–01–1991. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 11 с.

5. *Джавахар, Р.* Диагностика и поиск неисправностей электрооборудования и цепей управления / Р. Джавахар, П. Дайниш, М. Браун. – М.: Додэка XXI Издательский дом, 2007. – 328 с.

6. *Михеев Г. М.* Цифровая диагностика высоковольтного оборудования / Г. М. Михеев. — М.: Додэка XXI Издательский дом, 2008. – 304 с.

7. *Овчаров, В. В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве / В. В. Овчаров. – Киев: УСХА, 1990. – 168 с.

8. *Поспелов, Г. Е.* Надежность электроустановок сельскохозяйственного значения / Г. Е. Поспелов, В. И. Русан. – Минск.: Ураджай, 1982. – 165 с.

9. *Пястолов, А. А.* Эксплуатация электрооборудования / А. А. Пястолов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.

10. Правила устройства электроустановок. – Изд. 6-е, перераб. и доп., действующее в Республике Беларусь. – Гомель : Дізкос, 2008. – 640 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – Изд. 4-е, перераб. и доп., действующее в Республике Беларусь. – Гомель : Дізкос, 2008. – 672 с.

12. Рекомендации по организации ремонта и технического обслуживания электрооборудования на основе диагностирования. – М.: ГОСНИТИ, 1985. – 88 с.

13. *Русан, В. И.* Диагностика электрооборудования: методические указания по выполнению курсовой работы / В. И. Русан. – Минск: БГАТУ, 2007. – 38 с.

14. *Сердешнов, А. П.* Планирование эксплуатации сельскохозяйственного электрооборудования / А. П. Сердешнов. – Минск : Ураджай, 1992. – 87 с.

15. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий (ППРЭСх). – М.: Агропромиздат, 1987. – 191 с.

16. *Таран, В. П.* Диагностирование электрооборудования / В. П. Таран. – Киев: Техника, 1983. – 200 с.

Дополнительная

17. РД 153-34.0-20.363–99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. – Введ. 01–06–2000. – М. : СПО ОРГРЭС, 2001. – 32 с.

18. РД 34.45-51.300–97. Объем и нормы испытаний электрооборудования.– Введ. 05–08–1997. – 6-е издание, с изм. и доп. по сост. на 1.03.2001. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2004. – 132 с.

19. ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 01–01–1999. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 32 с.

20. РД ВУ 008.609.90-099–2008. Защита сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током. Выравнивание электрических потенциалов. Общие технические требования. – Введ. 25–11–2005. – Минск: РУП «ИЭ АПК НАН Б», 2005. – 38 с.

21. *Драхсел, Р. П.* Основы электроизмерительной техники /Р. П. Драхсел. – М: Энергоиздат, 1982.

22. Рекомендации по экономической оценке ущербов, наносимых сельскохозяйственному производству отказами электрооборудования. – М.: ВИЭСХ, 1987. – 33 с.

23. СТБ 941.2–93. Система аккредитации поверочных и испытательных лабораторий Республики Беларусь. Общие требования к аккредитации поверочных и испытательных лабораторий. – Введ. 01–07–1994. – Минск : БелГИСС, 1994.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Репозиторий БГАТУ

Учебное издание

Русан Викентий Иванович

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Пособие

Ответственный за выпуск В. В. Лисовский
Редактор В. М. Воронович
Компьютерная верстка А. И. Стебуля

Подписано в печать 27.04.2010. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,79. Уч-изд. л. 11,24.
Тираж 250 экз. Заказ 403.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552841 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0554743 от 02.02.2010.
Пр-т Независимости, 99–2, 220023, Минск.