

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра практической подготовки студентов

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Республики Беларусь в качестве учебно-методического комплекса для студентов высших учебных заведений специальности 1-74 06 05-01 «Энергетическое обеспечение сельского хозяйства (электроэнергетика)»

Под общей редакцией Русана В. И.

Минск
БГАТУ
2012

УДК 621.31(07)
ББК 31.22.7
Р 88

Рецензенты:

заведующий кафедрой «Электрические станции» Учреждения образования «Белорусский национальный технический университет», доктор технических наук, профессор *И. И. Сергей*;
начальник отдела энергетики Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь *А. В. Казак*

Составители:

доктор технических наук, профессор В. И. Русан,
ассистент К. Ю. Шварц

Р88 **Диагностика электрооборудования** : учебно-методический комплекс / сост. : В. И. Русан, К. Ю. Шварц. — Минск : БГАТУ, 2012. — 296 с.
ISBN 978-985-519-494-2.

ISBN 978-985-519-494-2

© БГАТУ, 2012

Модуль 0. ВВЕДЕНИЕ

Содержание М 0

Введение. Цель и задачи дисциплины, ее связь с другими дисциплинами учебного плана. Формирование у студентов соответствующих знаний, компетенций в процессе подготовки инженеров-электриков сельского хозяйства.

Введение

Для обеспечения надежности работы и эффективного функционирования технических систем и комплексов АПК в соответствии с системой Планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования в сельском хозяйстве (ППРЭсх) электрооборудование подвергается диагностированию, техническому обслуживанию и ремонту. Целью этих операций является своевременное выявление и устранение неисправностей электрооборудования для повышения надежности его работы и снижения стоимости эксплуатации.

В этой связи изучение диагностики электрооборудования является важным элементом подготовки инженера-электрика. Знание методов, средств, систем и способов диагностирования электрооборудования позволяет контролировать его техническое состояние.

Диагностирование электрооборудования включает в себя операции по определению и прогнозированию его технического состояния на основании измерения диагностических параметров, их анализа и обработки результатов контроля. Введение планового диагностирования в систему эксплуатации сельскохозяйственного оборудования и выполнение всех необходимых для этого ремонт-

ных работ значительно сокращает количество ремонтных операций, что приводит к уменьшению эксплуатационных издержек и снижению ущерба от отказов.

Прогнозирование технического состояния электрооборудования на основе мониторинга диагностических параметров позволяет получить достоверную информацию о его фактическом состоянии на момент проведения ремонтных работ, своевременно устранить возможность отказа этого оборудования, сократить его простой и использовать ресурсы электрических машин в полном объеме.

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

Цель дисциплины «Диагностика электрооборудования»: формирование у будущего специалиста системы знаний и навыков по диагностированию электрооборудования, а также знаний студентом приборов, приспособлений и инструментов, применяемых для диагностирования электрооборудования.

Задачами дисциплины является изучение следующих вопросов:

- эксплуатационные свойства электрооборудования;
- основы теории надежности;
- общие вопросы, а также организация, планирование и современные методы диагностирования электрооборудования;
- особенности диагностирования отдельных видов электрооборудования.

В результате изучения дисциплины студенты должны:

- знать основы теории надежности и информационных технологий, измерений и обработки их результатов, изменения эксплуатационных свойств электрооборудования в зависимости от условий эксплуатации, а также 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 влиянии диагностики на эксплуатационную надежность электрооборудования и конечные результаты сельскохозяйственного производства, а также роли в нем диагностики.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин:

1. Монтаж электрооборудования и средств автоматики (разделы: электроизоляционные материалы, проводниковые материалы и изделия, полупроводниковые материалы, магнитные материалы, конструкционные материалы).

2. Эксплуатация электрооборудования (разделы: устройство пускозащитной аппаратуры, измерительных приборов, электродвигателей, светильников, облучателей, электротермического оборудования; схемы подключения измерительных приборов).

3. Метрология и электрические измерения (разделы: измерительные мосты и компенсаторы, методы измерения электрических величин, погрешности измерений, электронные измерительные приборы, информационные технологии).

Подготовка специалиста в рамках дисциплины «Диагностика электрооборудования» должна обеспечить формирование следующих знаний:

– академических, включающих владение базовыми научно-теоретическими знаниями и умениями применять их для решения теоретических и практических задач при планировании, организации и выполнении диагностирования электрооборудования; владение методами научного познания и системного анализа; использование информационных технологий при решении соответствующих задач;

– социально-личностных, включающих способность к социальному взаимодействию и умение работать в коллективе;

– профессиональных, включающих умение выполнять работы по диагностированию электрооборудования и средств автоматизации в соответствии с установленными правилами и нормами, используя техническую документацию, а также знание порядка сдачи и приема выполняемых работ.

Изучение дисциплины рассчитано на 1 семестр. Для поэтапного изучения материалов учебной программы и контроля над этим процессом они разделены на 2 модуля, в состав которых входят темы занятий. Каждый модуль содержит тематически близкий по содержанию материал программы.

Учебно-информационная модель изучения дисциплины

Номер и наименование модуля	Общее количество аудиторных часов на модуль	Лекции (час)		Лабораторные занятия (час)		Практические занятия (час)		Всего УСРС по модулю (час)
		Часы по плану	В том числе УСРС	Часы по плану	В том числе УСРС	Часы по плану	В том числе УСРС	
М 0 Введение	1	1						
М 1. Общие вопросы диагностирования электрооборудования	31	15	2	10	—	6	2	4
М 2. Способы и системы диагностирования отдельных видов и узлов электрооборудования	36	18	2	8	4	10	2	8
Всего	68	34	4	18	4	16	4	12

Модуль 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Цель модуля: сформировать у студентов систему знаний и навыков в области технического диагностирования электрооборудования.

В результате изучения модуля студент должен:

– **знать** условия и особенности эксплуатации электрооборудования в АПК, закономерности строения и износа деталей и узлов электрооборудования, цели и задачи диагностики электрооборудования, а также основы теории надежности электрооборудования, планирование экспериментальных исследований и методы расчета показателей надежности;

– **уметь** давать оценку влияния диагностики на эксплуатационную надежность электрооборудования и конечные результаты сельскохозяйственного производства; организовывать службу диагностирования и создавать диагностические лаборатории, определять трудоемкости работ и составлять графики ТО и Д электрооборудования в условиях эксплуатации; выполнять расчет надежности элементов электрооборудования.

Теоретические вопросы

1. Физические основы надежности и законы распределения случайных величин. 2. Принципы и системы диагностирования и их назначение. 3. Методы неразрушающего контроля технического состояния электрооборудования.

УСРС. Самостоятельно изучить и подготовить рефераты по следующим вопросам:

1. Общие характеристики эксплуатационных свойств электрооборудования.

2. Коррозия металла и способы защиты.

3. Диагностирование электрооборудования при ТО и ТР.
4. Профилактическое диагностирование.

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ 1

1.1. Особенности и условия эксплуатации электрооборудования в АПК

Сельскохозяйственное производство характеризуется сезонностью и суточной цикличностью, что накладывает и особенности на работу оборудования, в т. ч. и электротехнического. Так, около 30 % электродвигателей в сельском хозяйстве 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 (проектная продолжительность — не менее 1500 ч в год).

Из-за неравномерной подачи материалов и их неоднородности значительные колебания имеет и загрузка электродвигателей. При этом многие виды электрооборудования (в т. ч. и электродвигатели), занятые в технологических процессах, время прерывания которых при отказе электрооборудования не должно превышать 0,5–1,5 ч, а возможный связанный с этим технологический ущерб значительно превышает стоимость самого оборудования или его капитального ремонта. Кроме технологического ущерба, вызванного отказом электрооборудования, возможны социальный, экономический, энергетический и другие виды ущерба, которые не всегда можно свести к экономическим показателям.

Недостаточная продолжительность работы и низкая загрузка электрооборудования, а также возможный ущерб от его отказов затрудняют выбор оптимального варианта эксплуатации. Поэтому для решения данной задачи необходимо использовать теорию вероятностей, массового обслуживания, надежности и других специальных разделов математики, позволяющих прогнозировать события в условиях неопределенности, что позволит производить выбор оборудования, стратегии его эксплуатации, численности и квалификации персонала с максимальным экономическим эффектом. При этом подход должен быть системным, т. е. учитывающим все составляющие системы эксплуатации (И-Э-Т-С) и ее связи

с внешними факторами (И — источник, Э — электроприемник, Т — технологический объект, С — служба эксплуатации).

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

Климатические условия эксплуатации различают по температуре, влажности, наличию или выделению воспламеняющихся или взрывоопасных веществ, химически активных паров или газов. В соответствии с правилами устройства электроустановок (ПУЭ) среди производственных помещений выделяют:

1) сухие — помещения с относительной влажностью не выше 60 % (офисы, школы, больницы и т. д.);

2) влажные — помещения с относительной влажностью от 60 до 70 %, пары и конденсирующая влага выделяются лишь временно;

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

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

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

6) 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.);

7) пожароопасные (класс П) — помещения, в которых производят, хранят, перерабатывают или применяют горючие вещества. Различают четыре класса таких помещений (П-I; П-II; П-III; П-IV);

8) взрывоопасные (класс В) — помещения, в которых могут образовываться взрывоопасные смеси газов или паров с воздухом или горючей пылью. Различают шесть классов таких помещений (В-I; В-Ia; В-Iб; В-Iв; В-Iг; В-II).

Биологические условия эксплуатации характеризуются наличием биологически активных веществ и организмов (поверхностно активные вещества, споры, грибы и т. д.), а также животных (мыши, крысы, птицы и т. д.) и непосредственным их воздействием (механические повреждения, выделения). При выборе оборудования

и его эксплуатации необходимо учитывать эти особенности, поскольку в противном случае может происходить повреждение изоляции животными, а также механическое повреждение электрооборудования животными, ускоренное его старение. Следует отметить, что влияние биологических условий эксплуатации оборудования на его работоспособность пока еще недостаточно изучено.

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

Электрические условия эксплуатации определяются опасностью поражения людей и животных электрическим током и особенностями электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. В соответствии с ПТЭ и ПТБ, по условиям поражения электрическим током различают помещения без повышенной опасности, помещения с повышенной опасностью особо опасные помещения. Особенности эксплуатации электрооборудования заключаются в ограничении уровней напряжений, применяемых для его питания, а также качеством изоляции и периодичности профилактических работ.

Особенностями электроснабжения сельскохозяйственных потребителей являются: разветвленность и протяженность электрических сетей, большое количество воздушных линий и открытых трансформаторных подстанций, неравномерность загрузки сетей и подстанций (как в течение суток, так и в течении года), значительное количество однофазных потребителей, низкие 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 13109-97.

Социально-технические условия эксплуатации характеризуются значительной рассредоточенностью оборудования, (в этой связи 15–40 % рабочего времени специалиста занимают переезды), разнотипностью оборудования (что требует разработки сложных гра-

фигов ТО и ТР), необходимостью в специальном оборудовании и соответствующих специалистах; высокой вариабельностью фронта работ (что вызывает необходимость привлечения к работам неодинакового количества электромонтеров), низкой квалификацией электротехнического персонала и недостаточной обеспеченностью даже этим персоналом (в отдельных хозяйствах эти службы отсутствуют вообще, а обеспеченность в среднем не превышает 20 % от нормативной, что затрудняет или 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. Перечислите особенности эксплуатации электрооборудования в АПК.

3. Какие существуют условия эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве?

1.2. Эксплуатационные свойства электрооборудования

Содержание

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.

Общая характеристика эксплуатационных свойств электрооборудования

Эксплуатационные свойства электрооборудования — это те его особенности или признаки качества, которые характеризуют, в какой мере оно соответствует требованиям эксплуатации. Чем больше приспособлено электрооборудование к эффективному использованию и техническому обслуживанию (ремонту), тем выше

его эксплуатационные свойства. Их закладывают при разработке и изготовлении электрооборудования, а реализуют — в процессе его эксплуатации.

Эксплуатационные свойства 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 рис. 1.1 приведена классификация эксплуатационных свойств электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве.

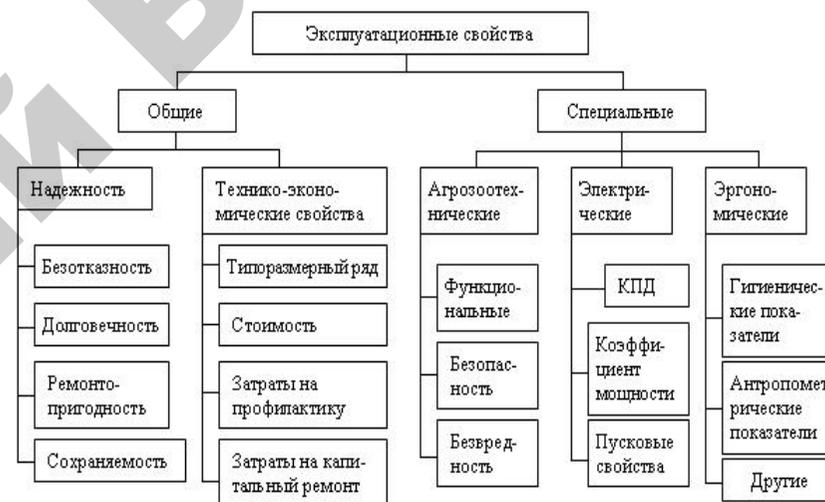


Рис. 1.1. Классификация эксплуатационных свойств оборудования

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 значениями для отсчета отклонений от них при испытаниях и эксплуатации. Эти показатели

указывают в технической документации и на заводском щитке электрооборудования.

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

Результирующие показатели — это средние или средневзвешенные значения основных параметров оборудования за некоторый период эксплуатации (сезон, год или срок службы). Они дают более полное представление об эффективности использования и результативности обслуживания (ремонта) электрооборудования. Эксплуатация должна быть налажена таким образом, чтобы значения результирующих показателей были не хуже значений 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.

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

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

Однако излишняя многономенклатурность затрудняет организацию рациональной эксплуатации оборудования из-за сложностей приобретения и хранения большого количества запасных деталей, материалов, инструментов и приборов. При этом повышаются требования к квалификации эксплуатационного персонала. Таким образом, следует выпускать электрооборудование 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 других эксплуатационных задач.

Оптимальные значения результирующих показателей эксплуатационных свойств электрооборудования определяются суммарными затратами на его разработку и использование. Повышение надежности или КПД оборудования связано с увеличением затрат на его создание или техническую эксплуатацию, но при этом уменьшается технологический ущерб из-за отказов электрооборудования, снижаются потери электроэнергии и затраты на капитальные ремонты. Стоимостные показатели позволяют сопоставлять варианты выбора электрооборудования и найти наилучшее решение.

Технологические свойства характеризуют соответствие электрооборудования агрозоотехнологическим или другим специальным требованиям. Электрооборудование общего назначения (двигатели, трансформаторы и т. п.) должно быть безопасным и безвредным для животных и растений, а специальное электрооборудование (облучатели, нагреватели и т. п.) — оказывать положительное воздействие на животных (растения). Например, если облучательная установка не обеспечивает заданный спектральный состав излучения, то вместо ожидаемого укрепления организма животного оно может заболеть.

Правильный выбор электрооборудования по технологическим свойствам и их поддержание в процессе эксплуатации обеспечивают высокое качество технологического процесса и экономию энергоресурсов.

Энергетические свойства отражают способность электрооборудования потреблять (производить, распределять) электроэнергию с высокой эффективностью (высокие КПД, коэффициент мощности и другие энергетические показатели), а также приспособленность к переходным (пуск, торможение) и другим режимам работы. Хорошими энергетическими свойствами должен обладать любой вид электрооборудований сельскохозяйственного назначения. Такое электрооборудование подключают к источнику питания через протяженные электрические сети с многократной трансформацией энергии. Система электроснабжения имеет невысокий КПД (70 %) и поэтому сельские электроприемники с низкими энергетическими свойствами вызывают большие потери электроэнергии, трудно запускаются и нестабильно работают.

При оценке энергетических свойств оборудования необходимо учитывать не только номинальные, но и результирующие показатели. Так на рис. 1.2. приведены рабочие характеристики КПД двига-

телей. Номинальный КПД первого двигателя значительно выше, чем второго. Но повышенные значения КПД первого двигателя наблюдаются лишь в узком интервале нагрузок, а за его пределами этого интервала энергетические свойства этого двигателя резко ухудшаются.

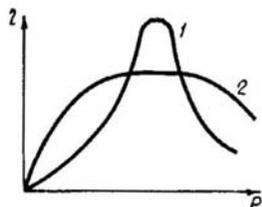


Рис. 1.2. Характеристики КПД двигателей:
1, 2 — номинальные КПД первого и второго двигателей

При использовании этих двигателей для каждого из них трудно обеспечить 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 изменения почти всех факторов имеют случайный характер.

Эргономические свойства определяют соответствие электрооборудования психофизиологическим возможностям обслуживающего персонала. Они оцениваются по гигиеническим, антропометрическим, физиологическим и психологическим показателям, установленным ГОСТ 26387-84. Система «человек-машина».

В группу гигиенических показателей входят уровни освещенности, запыленности, шума, вибрации, напряженности магнитного поля и др. Обычно новое электрооборудование имеет удовлетворительные гигиенические показатели, которые ухудшаются в процессе эксплуатации. Особенно нестабильны уровни механических и магнитных виброшумовых воздействий. Своевременное и качественное техническое обслуживание оборудования позволяет поддерживать его гигиенические показатели на требуемом уровне.

К антропометрическим показателям относят показатели, характеризующие соответствие конструкции и размещения электрооборудования физическим данным обслуживающего персонала. При правильном размещении электроустановки ее легко обслуживать. Следует отметить, что не в полной мере удовлетворяют антропометрическим требованиям распределительные щиты и пункты, так как они расположены в узких проходах, на больших высотах и т. п.

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

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЦЕССЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

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 очень неблагоприятных условиях. В процессе длительной эксплуатации электрических машин они подвергаются разнообразным эксплуатационным воздействиям.

Температура окружающей среды является наиболее распространенным фактором, воздействующим на электрические машины. При этом находятся в широком диапазоне колебания, 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 °С). В зимние месяцы эти агрегаты, в которых, как правило, отсутствует отопление, подвергаются воздействию низких температур (до -27 °С).

Многие технологические линии и отдельные рабочие машины находятся на открытом воздухе, либо в неотопляемых помещениях. В этой связи электродвигатели приводов этих машин также подвержены неблагоприятным температурным воздействиям.

Перегрузки электродвигателей часто связаны с несовершенством рабочих машин и механизмов. (К примеру, отсутствие средств автоматизации и контроля за нагрузкой кормодрилок и кормораздатчиков). Ряд механизмов (например, дробилки, шнеки, нории) порой включают под нагрузкой. В результате того, что зимой подвижные части рабочих машин часто смерзаются, они увеличивают массу за счет прилипания остатков кормов, навоза и т. п., увеличиваются силы трения и маховые моменты. Различные перекосы, износы трущихся частей, ухудшение смазки увеличивают трение и затрудняют подвижность рабочих органов. 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 их часть их выходит из строя из-за перегрузок.

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

В связи с тем, что нагрузки имеют сезонный характер, а мощность отдельных потребителей часто соизмерима с мощностью трансформаторов при отсутствии регуляторов напряжения и большой протяженности сетей 0,38 кВ напряжение в них 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 существовать много причин: перегорание одного из предохранителей на щите трансформаторной подстанции, обрыв провода линии электропередачи, повреждение контакта пусковой аппаратуры, контакта в коробке

ввода электродвигателя, жилы кабеля, окисление алюминиевого провода в местах контакта (особенно в животноводческих помещениях) и т. д. Часто при эксплуатации электродвигателей наблюдается ухудшение условий охлаждения электродвигателей из-за засорения их поверхностей продуктами переработки, снятия вентиляторов и т. д.

Изоляция обмоток асинхронных электродвигателей подвергается воздействию коммутационных перенапряжений, которые могут десятикратно (и более) превосходить номинальное напряжение, 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 изоляции электрических машин является вибрация. Действие вибрации на насыщенные обмотки выражается в постепенном разрушении лакового покрытия, 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, (от 0,005 до 0,9 мм). Частота вибрации большинства корпусов электродвигателей равнялась 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 ее нерабочего состояния. Особенно интенсивно этот процесс идет во время остывания машины, поскольку в этот период давление в порах и капиллярах изоляции несколько ниже атмосферного. Малая вязкость и другие свойства воды способствуют ее прониканию в мельчайшие поры, гидролитическому разрушению изоляционных материалов и расщеплению их полимерных цепей. В результате этого сопротивление изоляции и ее электрическая прочность снижаются и 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 значительных скрытых дефектов, очень редко отказывают из-за внезапного пробоя. Разрушение изоляции происходит постепенно, и иницирующая роль здесь принадлежит процессам теплового старения. Даже при сравнительно низких температурах, когда термоокислительная деструкция незначительна, под действием тепла происходит усыхание изоляции, испарение летучих компонентов, уменьшение эластичности, повышение 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; его асимметрии на них; изменения условий охлаждения (засорение поверхностей корпусов, работа без вентиляторов); коммутационных перенапряжений в питающей сети и возникающих перенапряжений в цепи электродвигателя при пусках и отключениях; толчков, вибраций, ударов со стороны рабочих машин; влажности окружающей среды; агрессивных сред.

Силовые трансформаторы в условиях сельскохозяйственного производства испытывают аналогичные 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 и поэтому они должны рассматриваться совместно.

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

Особенности влагообмена между изоляцией и окружающей средой

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

Почти половина (50 %) всего электрооборудования размещена 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 резкий перепад температур отрицательно воздействуют на электрооборудование (особенно на его изоляцию). В результате такого воздействия срок службы электрооборудования сокращается.

Увлажнение изоляции сопровождается ухудшением диэлектрических характеристик, особенно интенсивным в периоды нерабочих пауз. На рис. 1.3 приведены зависимости изменения сопротивления изоляции от продолжительности пребывания в испытательной камере относительной влажностью 100 % без аммиака (1) и 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 перегрузка).

Для упрощения рассмотрения процесса влагообмена, влагу, которая находится в изоляции, делят на свободную и связанную. В электродвигателях закрытого типа свободная влага отсутствует, поскольку непосредственного соприкосновения изоляции с водой нет. Связанная влага есть в гигроскопичных изоляционных мате-

риалах (влага в макро- и микрокапиллярах, в крупных порах и пустотах, влага смачивания). Однако электрооборудование закрытого обдуваемого исполнения негерметично, и влажный воздух из окружающей среды контактирует с изоляцией. При этом может происходить увлажнение изоляции, или ее осушение (в зависимости от режима работы электрооборудования).

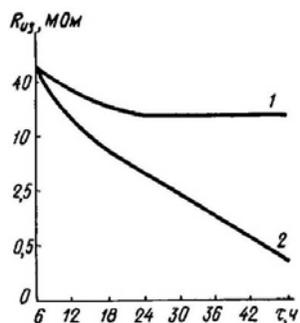


Рис. 1.3. Изменение сопротивления изоляции двигателя:
1 — во влажной среде 2 — во влажной среде с аммиаком (2)

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. осуществление сушки или увлажнения.

Внутренняя диффузия наблюдается в виде движения влаги в жидком или газообразном состоянии от внутренних увлажненных слоев изоляции к ее подсушенной поверхности. При этом влага перемещается из мест с большей влажностью в места с меньшей влажностью (вагопроводимость).

Кроме этого, существует так называемая «термодиффузия» влаги из более нагретых слоев изоляции в менее ее нагретые слои.

Полный поток влаги определяют по формуле:

$$m = m_p + m_w + m_t, \quad (1.1)$$

где m_p , m_w , m_t — масса влаги, проходящей через площадь сечения в единицу времени под действием соответствующего градиента.

Эти компоненты в свою очередь выражают следующими соотношениями:

$$m_p = k_p \text{grad } p; \quad (1.2)$$

$$m_w = k_w \text{grad } \omega; \quad (1.3)$$

$$m_t = k_t \text{grad } t, \quad (1.4)$$

где k_p , k_w , k_t — соответственно коэффициенты маярного переноса пара, вагопроводности и термовлагообмена (термодиффузии).

Изменение влагосодержания изоляции в процессе эксплуатации электрооборудования можно проследить по изменению ее сопротивления.

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, затем увлажняются внутренние слои. Процесс увлажнения продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто равновесное состояние увлажненности изоляции и влажности окружающей среды. Увлажнение изоляции приводит к изменению ее диэлектрических характеристик: снижению сопротивления изоляции, электрической прочности и др. Изменение сопротивления изоляции обмотки неработающего электродвигателя и его содержание в нем влаги показано на рис. 1.4.

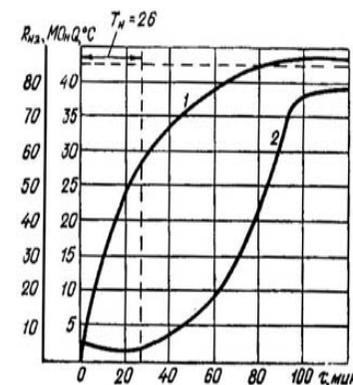


Рис. 1.4. График изменения сопротивления изоляции при осушении сильно увлажненного электродвигателя:

1 — температура нагрева; 2 — сопротивление изоляции

При установившемся равновесии влажности изоляции и среды происходит стабилизация сопротивления изоляции. После включения электрооборудования в работу начинают нагреваться его токоведущие части. В начальный период после пуска двигателя 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 ее периферии). Под воздействием градиента температуры начинается перемещение влаги.

По мере увеличения температуры обмотки влага, находящаяся в порах изоляции, начинает испаряться (изоляция «распаривается») и пары влаги проникают в мельчайшие поры изоляции (сопротивление изоляции обмотки уменьшается). В зависимости от начального содержания влаги в изоляции и структуры сниженные сопротивления изоляции при ее разогреве будут различным. В одних случаях (при относительно сухой изоляции) сопротивление изоляции будет незначительно, в других (сильно увлажненная изоляция) — значительно, что является опасным для электрической прочности изоляции. Это необходимо учитывать при эксплуатации электроустановок (особенно в сельской местности).

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

При дальнейшем увеличении 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.

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

В это время происходит перемещение паров влаги из изоляции в окружающую среду, т. е. процесс сушки. При этом сопротивление изоляции электродвигателя возрастает.

При длительной работе электродвигателя влага, находящаяся в изоляции, будет удалена (произойдет процесс ее осушения). При этом сопротивление изоляции достигнет установившегося значения для данной температуры. После отключения электродвигателя он начнет охлаждаться, и изоляция обмотки начнет увлажняться.

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

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

При ремонте электродвигателей его обмотки, пропитанные водоземлемыми лаками, можно высушить электрическим током за 1,5–2 ч.

Продолжительность сушки изоляции электродвигателя при его работе, как правило, меньше, чем при его отключенном состоянии.

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

Следует отметить, 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. Все время включенный в работу электродвигатель оказывается постоянно нагретым и влага из окружающей среды не может проникать внутрь его оболочки, т. е. 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 температуры для данного класса изоляции, то электродвигатель будет надежно работать.

На рис. 1.5. показано изменение сопротивления изоляции электродвигателя АО2, установленного на навозоуборочном транспорте, с трехкратным включением в течение суток.

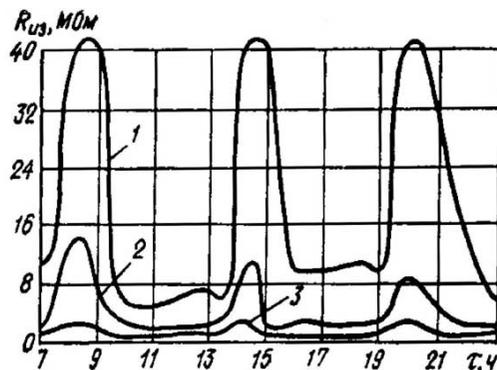


Рис. 1.5. График изменения сопротивления изоляции электродвигателя навозоуборочного транспорта: 1 — вторые сутки работы; 2 — десятые сутки; 3 — двадцатые сутки работы

Любое увлажнение изоляции обмоток электродвигателей нежелательно, поскольку снижение ее сопротивления может привести к пробое изоляции. При этом 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 некоторыми особенностями происходят и в других видах электрооборудования (изоляция электрических кабелей, обмотки пускозащитной аппаратуры и т. д.).

Влияние режимов и условий эксплуатации на срок службы оборудования

Срок службы электрооборудования — календарная продолжительность эксплуатации машины и ее элементов до ее (их) списания или момента возникновения предельного состояния, оговоренного в технической документации.

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

Наработка — продолжительность или объем работы в часах, мото-часах, километрах пробега или других единицах.

Предельное состояние изделия или механизма возникает из-за отказов, вызванных постепенным изнашиванием и 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. д. В общем виде старение изделий и, в частности, электрической изоляции (как одной из важнейших составляющих электрических изделий) подчиняется законам химической кинетики, в том числе закону Я. Вант Гоффа–С. Аррениуса:

$$\ln K = \frac{B}{\theta} + D, \quad (1.5)$$

где K — постоянная скорости реакций;

θ — абсолютная температура, °К;

B и D — коэффициенты, зависящие от условий работы изделий.

Факторы, влияющие на надежность электрооборудования

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

Конструктивные факторы обусловлены наличием в устройстве малонадежных элементов; недостатками схемных и конструктивных решений, принятых при проектировании; применением комплекующих элементов, не отвечающих условиям окружающей среды.

Производственные факторы обусловлены нарушениями технологических процессов, загрязненностью окружающего воздуха, рабочих мест и приспособлений, недостаточным контролем качества изготовления и монтажа и проч. При изготовлении и монтаже ЭТУ большое влияние на их надежность оказывают процессы хранения и транспортировки, во время которых они часто повреждаются.

Однако 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 и характер воздействия каждого из перечисленных выше факторов, а также 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.

Воздействие *ударно-вибрационных нагрузок* на срок службы и работу ЭТУ в ряде случаев может быть значительно сильнее воздействия других механических нагрузок (а также электрических и тепловых). В результате длительного знакопеременного воздействия на ЭТУ даже небольших ударно-вибрационных нагрузок в элементах ЭТУ происходит накопление усталости, что приводит к отказам (обычно внезапным). Из-за вибраций и ударов в ЭТУ возникают многочисленные механические повреждения элементов конструкции, ослабляются их крепления и нарушаются контакты электрических соединений.

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

Электрические и механические перегрузки. Электромеханические устройства часто приходится работать в режиме перегрузок. Их причинами могут быть неисправность механизмов, значительные превышения частоты или напряжения питающей сети, загустение смазки механизмов в холодную погоду, превышение номинальной расчетной температуры окружающей среды, высокая нагрузка при форсировании 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 оказывают влияние температура (низкая или высокая) и высокая влажность. При низких температурах снижается ударная вязкость металлических деталей ЭТУ; меняются значения технических параметров элементов (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 разнообразных формах. Так, в жару портятся изоляционные материалы, уменьшается сопротивление изоляции, (т. е. увеличивается опасность электрических пробоев), нарушается герметичность (вытекают заливные и пропиточные компаунды). В результате нарушения изоляции в обмотках электромагнитов, электродвигателей и трансформаторов возникают их повреждения. Заметное влияние оказывает повышенная температура на работу механических элементов ЭТУ.

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

Воздействие пыли. На надежность ЭТУ влияет пыль. Ее частицы попадают в смазку, оседают на частях и механизмах электротехнических устройств и вызывают износ трущихся частей и загрязнение изоляции. Пыль наиболее опасна для электродвигателей, в которые она попадает с засасываемым в них воздухом. Однако и в других элементах ЭТУ износ значительно ускоряется, если пыль проникает сквозь уплотнения и попадает на поверхности трения. Поэтому при наличии 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.).

Защита электроустановок от воздействия окружающей среды

Одним из факторов, определяющих надежность электрооборудования в сельском хозяйстве, является его коррозионное состояние. Коррозия — самопроизвольное разрушение твердых элементов электрооборудования из-за их химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой. Защита электроустановок от коррозии является одной из задач при эксплуатации электрооборудования.

В номенклатуру электрооборудования, применяемого в сельском хозяйстве, входят разнообразные электродвигатели, аппараты управления и защиты, светотехнические устройства, а также вспомогательные детали, обеспечивающие монтаж и безопасную работу электроустановок. В специфических условиях сельскохозяйственного производства к этим установкам предъявляются особые требования по конструктивному исполнению и способам защиты от воздействия окружающей среды.

Особенностью комплектных электротехнических изделий (рубильников, пускателей, автоматических выключателей контактов и проч.) является то, что их детали изготовлены из самых разнородных материалов и сплавов. В условиях повышенной влажности это приводит при их сопряжении и отсутствия электрического разобщения к интенсивному развитию контактной коррозии. Сложность защиты этих изделий от коррозии состоит в том, что

для них исключается возможность электрического разобщения изоляционными прокладками или лакокрасочным покрытием, как это рекомендуется делать для изделий общего машиностроения. Кроме того, в настоящее время отсутствуют надежные способы защиты электрических контактов, магнитных систем и пружин от воздействия агрессивных сред.

Повышение долговечности электрооборудования может быть достигнуто за счет применения коррозионно-стойких материалов, ингибиторов коррозии, стойких защитных покрытий, а также изоляцией электротехнических изделий от агрессивной атмосферы или снижением ее уровня в сельскохозяйственных помещениях с помощью эффективной приточно-вытяжной вентиляции. При этом выбор конкретного варианта повышения долговечности оборудования следует делать на основе соответствующих технико-экономических расчетов.

В настоящее время существует ряд мероприятий по защите электрооборудования от вредного воздействия агрессивной среды. Каждое из этих мероприятий, наряду с положительными сторонами, имеет определенные недостатки. К таким мероприятиям относятся: 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.

Для предотвращения конденсации влаги на поверхности и внутри щитов и пультов управления в них устанавливают специальные подогреватели (лампы накаливания, сопротивления и т. п.). При температуре воздуха + 25–40 °С ее повышение на 2–3 °С снижает относительную влажность до 90 %, на 5 °С — до 75–80 %. Однако снижение влажности до 60–70 % влечет за собой повышение температуры (по сравнению с окружающей средой) на 10 °С, что вызывает дополнительный расход электроэнергии, а для единичных аппаратов — эта мера вообще неприемлема.

Эффективным способом защиты электрических аппаратов от воздействия окружающей среды является создание стойких в химическом отношении 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, показало, что желаемого результата в ряде случаев не наблюдается. Объясняется это тем, что невозможно добиться герметизации в местах ввода электрических проводов, поскольку используемые при этом упругие органические материалы (резина, поливинилхлорид и проч.) сами отчасти влагопроницаемы. Кроме того, монтаж на объектах, как правило, осуществляется проводами и кабелями, сечения которых отличаются 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. Недостатком данного способа является то, что полностью вынести из этих помещений всю аппаратуру управления невозможно, поскольку пульты управления, кнопки и рубильники должны находиться в зоне видимости работающего. Кроме того, значительное удаление магнитных пускателей от электроприводов снижает надежность работы тепловой защиты и приводит к повышенному расходу проводов и кабелей.

В настоящее время с целью повышения работоспособности электроустановок применяют специальные аппараты в тропическом исполнении. К недостаткам этой меры относится, во-первых, стоимость оборудования, которое изготавливается из легированных материалов, а во-вторых, то, что специфические условия сельскохозяйственных помещений не позволяют использовать некоторые антикоррозионные материалы из-за несоответствия их механических свойств условиям эксплуатации.

Применение влагопоглотителей также не является кардинальным решением проблемы защиты оборудования от коррозии, поскольку они впитывают ограниченное количество влаги и их нужно периодически заменять (например, часто используемый силикагель используется не более 6 месяцев).

Способ защиты электрических аппаратов летучими ингибиторами от коррозии металлов, разработанный в России сотрудниками Челябинского государственного агроинженерного университета, заключается в том, что в замкнутое пространство кожуха помещается защитный элемент (картон, пенопласт, фетр или другой пористый материал, пропитанный раствором летучего ингибитора). Испаряясь с поверхности элемента, ингибитор адсорбируется на поверхности металла

и образует пленку, которая надежно защитит его от коррозии. Способ прост в применении, позволяет защитить детали сложной конфигурации и дает значительный экономический эффект. К недостатком этого способа относится то, что значительный эффект лишь в узком интервале концентраций, и кроме того, они, как правило, являются высокотоксичными соединениями.

Влияние качества электроэнергии на работу электрооборудования

Важным фактором, определяющим эксплуатационную надежность и эксплуатационные характеристики электрооборудования, является качество электрической энергии. В соответствии с ГОСТ 13109—97 нормируется 8 основных и 10 дополнительных параметров электроэнергии. При этом указываются допустимые и предельно допустимые значения показателей. Так, отклонения напряжения составляют $\pm 5\%$ и $\pm 10\%$, частоты — $\pm 0,2$ и $\pm 0,4$ Гц; некоторые из показателей носят комплексный характер. К ним относятся: 1) несимметрия напряжений характеризуется коэффициентами нулевой (k_0) и обратной (k_2) последовательностей, 2) колебания напряжения, которые характеризуются размахом напряжения (δU) и дозой фликера (P_{st}), 3) несинусоидальность напряжения, которая характеризуется коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения (k_U) и коэффициентом n -й гармонической составляющей напряжения ($k_{U(n)}$). Значения этих величин, равно как и провала напряжения, импульса напряжения и временного перенапряжения зависят от уровня напряжений сети, частоты повторения и ряда других условий, определяемых ГОСТ.

Для электрических сетей напряжением 0,38 кВ:

$$k_2 = U_2 / U_{нл} \cdot 100\% = 2\% \text{ и } 4\%; k_0 = U_0 / U_{нф} \cdot 100\% = 2\% \text{ и } 4\%;$$

$$\delta U = \pm 10\% U_n; P_{st} = 1,0 - 1,38;$$

$$k_U = 8\% \text{ и } 12\%; k_{U(n)} = 6 - 2\% \text{ и } 9 - 3\%.$$

Первые значения соответствуют допустимым, вторые — предельно допустимым значениям.

Рассмотрим их влияние на работу типовых токоприемников.

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 рис. 1.6. эта характеристика показана при снижении напряжения.

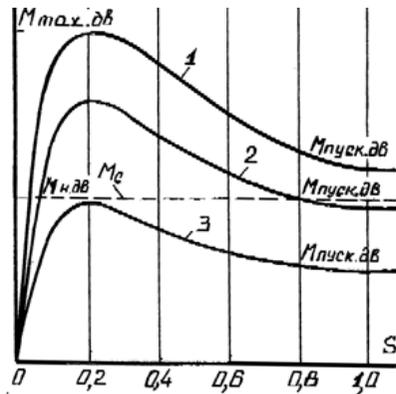


Рис. 1.6. Влияние изменений напряжения на механическую характеристику асинхронного электродвигателя: 1 — при номинальном напряжении U_n ; 2 — при напряжении, равном $0,9 U_n$; 3 — при напряжении, равном $0,7 U_n$

Вращающийся момент асинхронного электродвигателя примерно пропорционален квадрату напряжения. Это значит, что при снижении напряжения на 10 % ($0,9 U_n$) момент уменьшается на 19 % ($0,81 M_n$), а при снижении на 30 % уменьшение момента составит 51 %.

На рисунке штрихами показан также момент сопротивления приводимого во вращение электродвигателем механизма. Хотя в общем случае снижение частоты вращения двигателя зависит от снижения напряжения 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 «опрокидывание» двигателя. Во избежание повреждения электродвигателя он должен быть отключен от сети.

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

Отклонения напряжения влияют и на другие характеристики асинхронных двигателей. Так, при снижении напряжения и посто-

янным моменте сопротивления механизма увеличивается потребляемый электродвигателем ток, что приводит к увеличению его потерь за счет нагрева 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 $\cos \phi$. Если двигатель длительно работает при пониженном напряжении, то из-за ускоренного износа изоляция обмоток срок службы двигателя сокращается.

К изменению напряжения особенно чувствительны осветительные приборы. На рис. 1.3. 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: $P^* = P/P_n$; $F^* = F/F_n$; $H^* = H/H_n$; $T^* = T/T_n$.

Индексы «н» относятся к номинальным значениям соответствующих величин.

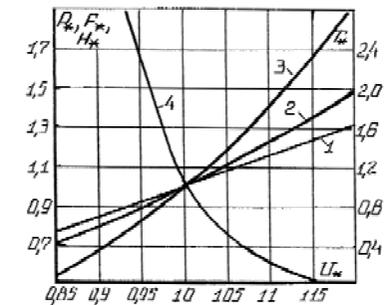


Рис. 1.7. Влияние изменений напряжений на характеристики ламп накаливания: 1 — потребляемая мощность; 2 — световая отдача; 3 — световой поток; 4 — срок службы

Из рис. 1.7 видно, что при снижении напряжения заметно уменьшается световой поток, что отрицательно сказывается на освещенности рабочих мест, которая в свою очередь, негативно влияет на производительность труда и утомляемость работников, а также ухудшение условия 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 имеет место перерасход электрической энергии, значительно сокращается срок службы ламп накаливания.

Люминесцентные лампы меньше реагируют на изменение напряжения, но при снижении напряжения до определенной величины (93–94 % от номинального) лампы могут не загореться. При повышении напряжения (на 6–7 %) перегревается вспомогательная аппаратура. С увеличением подводимого напряжения потребление люминесцентными лампами реактивной мощности возрастает, 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, но и снижении напряжения. При отклонениях напряжения от номинального значения в пределах $\pm 10\%$ срок службы люминесцентных ламп снижается в среднем на 20–25 %.

При ультрафиолетовом облучении животных (в том числе и птицы), а также при обеззараживании воздуха и продуктов в сельском хозяйстве отклонения напряжения влияют на срок службы ламп, а также их светотехнические и электрические показатели. При этом 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 чувствительны к отклонениям напряжения. Общим для всех электронагревательных установок является то, что величина, потребляемая ими активной мощностью, зависит от значения квадрата приложенного напряжения. Поэтому при снижении напряжения производительность электронагревательных установок уменьшается 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 и сокращение срока службы нагревательных элементов.

Причинами несимметрии напряжений являются: неравномерное распределение нагрузки по фазам, которое создается однофазной нагрузкой; одновременное включение и выключение однофазных потребителей по фазам; перегорание предохранителей в одной из фаз (потеря фазы) и т. д.

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

Так, при 5-процентной несимметрии напряжений допустимая мощность двигателя по сравнению с номинальной снижается на 10–15 %, а при 10-процентной несимметрии напряжений — на 25–45 %. Система нулевой последовательности напряжений вызывает дополнительную вибрацию электродвигателей, из-за 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, ложному срабатыванию защиты и перенапряжению в обмотках, что, в свою очередь, приведет 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 его производительности или нарушениям в технологии.

Высшие гармоники образуются при наличии нелинейных потребителей и 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, и каковы способы защиты от коррозии?
4. Назовите факторы, влияющие на надежность работы электрооборудования.
5. Какое влияние оказывает качество электроэнергии на работу электрооборудования?

1.3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Содержание

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

Задачи технической диагностики

Основные понятия и определения технического диагностирования базируются на «Международном словаре 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.

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

Первая задача диагностирования — *проверка исправности*, при которой решается задача обнаружения в объекте любой неисправности, переводящей его из множества исправных состояний A в множество неисправных состояний W_2 . Неисправности устройств возникают при их изготовлении на заводах, а также включении устройств после долгого хранения или ремонта. При введении в эксплуатацию устройств проверяют все элементы, узлы, цепи, источники питания и изоляцию. Как правило, 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 допускается 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 менее 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 тогда, когда имеется ограничение на время, отведенное для проверки устройств.

Третья задача диагностирования — *проверка правильности функционирования*. Эта задача 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. Указанная задача имеет важное значение для систем автоматизации, выполняющих ответственные функции управления технологическими процессами. В этих системах 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 их 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 C (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 обычно 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 (рис. 1.8.). 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.



Рис. 1.8. Диагностирование на всех этапах жизни технического объекта

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 проблема поиска дефектов. На заключительной стадии диагностирования осуществляется выходной контроль и проводится проверка исправности объекта.

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

Объект диагноза ОД представляют в виде устройства (рис. 1.9), 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.

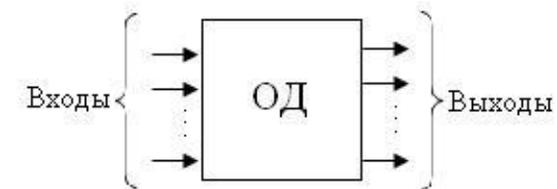


Рис. 1.9. Объект диагноза ОД

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

По назначению тесты делят на проверяющие и диагностические. Проверяющий тест (T_n) — 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 ее

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.

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 изделий и обнаружения их неисправностей (дефектов).

Техническое диагностирование — это процесс определения (распознавания) состояния объекта, конечным результатом которого служит заключение о 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 международному стандарту ИСО 10012-1:1992 и МЭК 60364-6-61-86.

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

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 из-

мерений к применению, клеймению и (или) выдаче документа о проверке, подтверждающего, 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 (одной либо нескольких ее значений) величины в целях передачи ее другому измерительному прибору путем сличения.

Национальный эталон — эталон, признанный официальным государственным решением служить в стране основой для установления значений всех других эталонов соответствующей величины.

Система диагностирования (СД) — совокупность объекта, способов и средств диагностирования. По назначению и виду решаемой диагностической задачи эти системы 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 их вывода 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 его состав 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, эти таблицы имеются в справочной литературе и 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 результатов 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 на основании информации о закономерностях изменения параметров в период, предшествующий прогнозу, оценивают остаточный ресурс элементов. Например, для подшипника известны фактическое и предельное значения зазора. Разделив разность этих значений на скорость изнашивания подшипника, получает его остаточный ресурс, по которому можно определить ожидаемую дату отказа подшипника. Однако такое прогнозирование позволяет использовать лишь в простейших случаях. При эксплуатации электрооборудования

создание прогнозирующих СД связано с рядом методических трудностей, обусловленных сложностью процессов старения и износа электроустановок.

Вместе с тем прогнозирование используют при профилактических испытаниях, поскольку статистические данные подтверждают высокую вероятность безотказной работы до очередного испытания того электрооборудования, которое успешно выдержало текущее профилактическое испытание.

Существуют параметры, 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.). На этих же принципах основано действие современных защитных устройства (например, автоматические выключатели с дифференциальной защитой и др.).

Вопросы для самоконтроля

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

1.4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ОБЩИЕ ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Содержание

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

Надежность оборудования (в том числе и электрооборудования) является одной из важнейших характеристик его качества и условием его рациональной эксплуатации.

При этом надежность изделия характеризуется следующими свойствами: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

Уровень надежности оборудования должен быть достаточно высоким для качественного обеспечения технологических процессов. Помимо этого он должен быть экономически оправданным.

Для оценки надежности используются 14 показателей, (в том числе 5 общих), оцениваемых теоретическими и статистическими формулами, и 24 основных термина [4].

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 технической документацией: стандартами (ГОСТ), техническими условиями (ТУ).

К неисправностям относят снижение сверх допустимых пределов производительности и экономичности, 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.

Следует отметить, что 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 возникновение неисправности не всегда ведет к появлению отказа. Отказы 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 выбран материал деталей, посадки сопряжений не соответствуют их условиям работы и т. д.

Технологические отказы возникают в результате неправильного назначения технологических процессов (например, механической и термообработки) изготовления и восстановления деталей или из-за нарушения принятой технологической последовательности изготовления (восстановления) деталей, сборки, регулировки, прира-

ботки и испытания узлов, агрегатов и машины в целом. Эти отказы могут возникать и в результате неправильного выбора материалов и нестабильности их свойств.

Эксплуатационные отказы возникают как в нормальных условиях, при которых соблюдаются правила эксплуатации и обслуживания техники, так 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 — отказы, 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 — отказы, которые возникают из-за предельных износов, трещин в деталях и т. д.

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

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 стуки, 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.

Следует отметить, что износ и старение являются основными причинами постепенного изменения параметров изделий.

В этой связи возникновение постепенных отказов можно прогнозировать и при технических обслуживаниях и ремонтах принимать меры к предупреждению этих отказов (например, замена быстроизнашивающихся деталей, регулировка и др.).

Внезапные отказы могут происходить 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.

Иногда 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 возникают при транспортировании, хранении, эксплуатации и испытаниях оборудования.

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, обслуживающих или пользующихся изделием людей, и *безопасные*.

Кроме того, отказы бывают очевидные, скрытые и т. д.

Следует отметить, что наработку нельзя смешивать с календарной продолжительностью работы (сроком службы), поскольку 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 его эксплуатация 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 эксплуатации изделия до ее конца (для невозстанавливаемого изделия) или до ее ремонта (для восстанавливаемого).

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

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, а также 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, а также хранения и транспортирования). Гарантийная наработка, как и срок гарантии, устанавливается в технической документации или договорах между заводом-изготовителем (или ремонтным предприятием) и заказчиком.

Во многих случаях наработка до отказа не может достаточно полно характеризовать надежность, поскольку для многих устройств бывает необходимо, чтобы они безотказно проработали в течение определенного минимально необходимого времени. Поэтому, сравнивая надежность технических устройств, имеющих разные условия работы и назначение, необходимо учитывать наработку до отказа этих устройств, а также 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 объекта не возникнет.

Показатель вероятности безотказной работы используют лишь в том случае, если определен интервал времени, в течение которого рассматривается безотказность объекта. Выражается этот показатель всегда числом от 0 до 1 (или в процентах — от 0 до 100 %). Если, например, 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 устройство 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 определить, 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 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, то есть отказы могут возникать и раньше этого времени.

Таким образом, если вероятность безотказной работы устройства является заданной величиной, то для ее обеспечения необходимо увеличивать наработку до отказа или уменьшать требуемое время его безотказной непрерывной работы.

Третий важный показатель надежности — это 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 возникновения отказов для некоторой совокупности устройств не является постоянной величиной и изменяется во времени (рис. 1.10.). В начальный момент времени ($t=0$) наблюда-

ется относительно высокая интенсивность отказов из-за наличия скрытых производственных дефектов в изделиях. По мере устранения этих дефектов интенсивность отказов падает (участок от 0 до t_1). Этот период носит название *периода приработки* (в этом периоде на нем имеют место приработочные отказы).

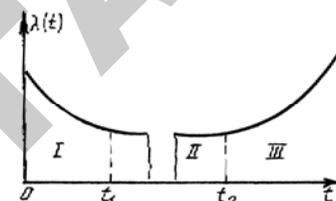


Рис. 1.10. Характер изменения во времени интенсивности отказов:
I — участок приработочных отказов; II — участок внезапных отказов;
III — участок внезапных и износовых отказов

Второй отрезок времени (от момента t_1 до t_2) соответствует *периоду нормальной эксплуатации* изделий. Здесь имеют место лишь внезапные отказы (с примерно постоянной интенсивностью). При длительной эксплуатации изделий из-за их старения, кроме внезапных отказов, появляются износовые отказы, что приводит к росту интенсивности возникновения отказов. Третий отрезок времени (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, в 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 являются случайными событиями, а наработки до отказа и между отказами — случайные величины, то законы надежности описывают такими же вероятностными законами, что и случайные величины.

Наиболее полной, универсальной характеристикой случайной величины — является **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 1.11. кривая 2 изображает функцию распределения случайной величины t , являющейся наработкой устройства 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.

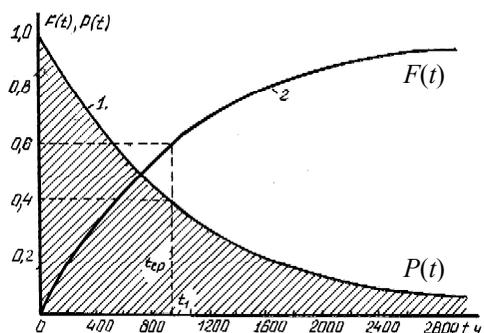


Рис. 1.11. Функции распределения надежности (1) и ненадежности (2) устройств

Функцию $F(t)$ иногда называют функцией ненадежности. При ее помощи можно легко определить функцию надежности или функцию вероятности безотказной работы устройства ($P(t)=1 - F(t)$.) Эта функция также изображена на рис. 1.11. (кривая 1). Из рис. 1.11 видно, что, если вероятность отказа устройства до момента t_1 равна 0,6, то вероятность безотказной работы этого устройства до этого же момента будет равна 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 состоит в том, что площадь, ограниченная кривой распределения и осью абсцисс, равна единице.

Рассмотренные характеристики надежности (средняя наработка устройства до отказа (на отказ), вероятность безотказной работы, плотность распределения наработки до отказа (на отказ) и интенсивность отказов, параметр потока отказов) являются основными характеристиками безотказности устройств. Их можно выразить одну через другую (1.4–1.7):

Например:

$$f(t) = F', \quad F(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad (1.4.)$$

$$P(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt, \quad (1.5)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (1.6)$$

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (1.7)$$

Из формулы 1.7. видно, что средняя наработка устройства до отказа равна площади, ограниченной кривой распределения вероятностей безотказной работы и осью абсцисс. Наиболее распространенным в теории надежности является **экспоненциальный (показательный) закон надежности**. Плотность распределения наработки устройства до отказа в этом законе имеет следующий вид ($t \geq 0$):

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (1.8)$$

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

Вероятность безотказной работы устройства определяют по формуле:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1.9)$$

Среднюю наработку устройства до отказа определяют по формуле:

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda}. \quad (1.10)$$

Данный закон определяется всего лишь одним параметром — интенсивностью отказов $\lambda(t)=\lambda$. Это значительно упрощает опреде-

ление закона распределения вероятностей безотказной работы устройства опытным путем, поскольку требуется наблюдать меньшее число отказов, чем при других, например, двухпараметрических, распределениях. Кроме того, с помощью этого закона легко определяют среднюю наработку устройства до отказа и другие показатели надежности.

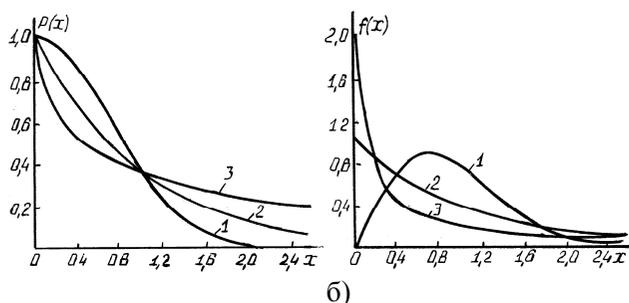


Рис. 1.12. Показатели надежности по экспоненциальному закону: 1- $\lambda=2$; 2- $\lambda=1$; 3- $\lambda=0,5$

Характер изменения показателей надежности в экспоненциальном законе полностью определяют параметром λ (рис. 1.12), который влияет на функцию распределения вероятностей безотказной работы устройства (рис. 1.12, а) и плотность распределения наработок до отказа (рис. 1.12, б).

При экспоненциальном законе надежности интенсивность отказов устройства и параметр потока отказов совпадают, но отказы устройства без явно выраженного максимума (в частности, в электроустановках), описываются этим законом недостаточно точно.

Другим универсальным законом распределения отказов устройств, используемым в теории надежности, является **Закон Вейбулла-Гнеденко** (рис. 1.13). Двухпараметрический закон позволяет точнее аппроксимировать функции безотказной работы устройств (в частности, в электроустановках).

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

$$f(t) = \frac{b}{a(x)^{b-1} \cdot e^{-xb}}, \quad (1.11)$$

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

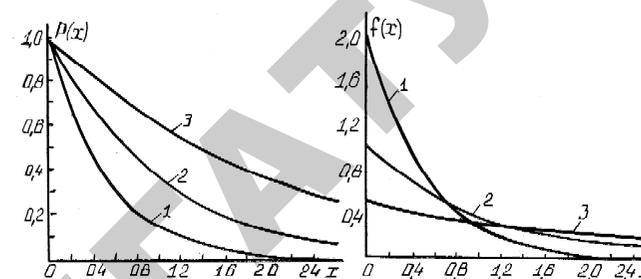


Рис. 1.13. Показатели надежности по закону Вейбулла-Гнеденко: 1- $b=2$; 2- $b=1$; 3- $b=0,5$

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле:

$$P(t) = e^{-xb}. \quad (1.12)$$

Интенсивность отказов устройств (в соответствии с законом распределения наработки до отказа Вейбулла-Гнеденко), определяют по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{b}{a(x)^{b-1} \cdot e^{-xb}}, \quad (1.13)$$

Параметр распределения b в законе Вейбулла-Гнеденко носит название *параметра формы кривой*. В зависимости от его значения, вид законов распределения может быть различным, так на рис. 1.13, показаны функция распределения вероятностей безотказной работы a и плотность распределения наработки до отказа при трех значениях параметра b (параметр a принят равным единице). При $b=1$ распределение по закону Вейбулла-Гнеденко превращается в экспоненциальное распределение. Влияние этого параметра на характер интенсивности отказов показано на рис. 1.14.

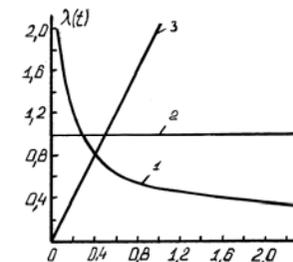


Рис. 1.14. Изменение интенсивности отказов при различных значениях параметра b в законе Вейбулла-Гнеденко: 1- $b=0,5$; 2- $b=1$; 3- $b=2$

При применении закона Вейбулла-Гнеденко среднюю наработку устройств до отказа определяют по формуле:

$$t_{cp} = a \cdot \Gamma \cdot \left(1 + \frac{1}{b}\right), \quad (1.14)$$

где $\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$ — гамма-функция, значения которой вычисляются по таблицам, приводимым в справочниках.

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

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1.15)$$

Вычислительные операции при нормальном законе распределения значительно упрощаются благодаря наличию специальных таблиц, приведенных в соответствующих справочниках.

Рассматривая кривую, приводимую на рис. 1.14., можно отметить, что период приработки достаточно точно может быть описан законом 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, на практике используют и 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 работоспособности и означает вероятность застать объект в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, где интервал применения объекта 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. Следует отметить в обоих режимах возможно возникновение отказов и восстановление работоспособности объекта. При $t_0 \rightarrow 0$ коэффициент оперативной готовности превращается в $k(t)$, т. е.

$$\lim_{t_0 \rightarrow 0} k(k, t+t_0) = k(t). \quad (1.16)$$

Кроме того,

$$\lim_{t \rightarrow 0} k(t, t+t_0) = P(t_0). \quad (1.17)$$

Коэффициент технического использования — отношение математического ожидания интервалов времени нахождения объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, 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 технического использования учитывает затраты времени на плановые и неплановые ремонты и определяется по формуле:

$$k = \frac{T}{T + \tau}, \quad (1.18)$$

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. К примеру, срок службы изделий, при среднегодовой наработке не более 1500 ч, должен составлять 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 ее же высокой эксплуатационной надежности. Так, 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.

Планирование эксперимента и обработка результатов по определению показателей надежности изделий проводится в соответствии с [3, 4, 5].

Вопросы для самоконтроля

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

1.5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Содержание

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

Работы по диагностированию электрооборудования включают в себя определение его технического состояния и прогнозирование

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

Диагностирование электрических машин и аппаратов выполняется в соответствии с годовым графиком формы 1.1 (приложение 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, то целесообразнее, чтобы диагностирование проводило ремонтно-диагностическое звено или бригада.

В любом случае звено (или бригада) должно, в соответствии с правилами техники безопасности, состоять, как минимум, из двух человек. При этом руководитель должен иметь квалификационную группу не ниже четвертой, а подчиненные — не ниже третьей.

Результаты диагностирования рационально заносить в журнал по рекомендуемой форме 1.2 (приложение 2).

При диагностировании электрооборудования специализированным звеном или бригадой рекомендуется по данным измерений заполнить бланк-распоряжение на проведение ремонтных работ (форма 1.3), который передается ремонтной бригаде (приложение 3).

Форма 1.3 заполняется на электрооборудование, если в нем следует заменить быстросъемную деталь или подлежащее текущему или капитальному ремонту. В том случае, если электрооборудование подлежит капитальному ремонту, в графе 6 формы 1.3 следует указать причину этого ремонта.

Планирование ремонтных работ, составление годового графика

При планировании технического обслуживания, диагностирования, текущего и капитального ремонта электрооборудования 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 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.

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

В связи с тем, что методика диагностирования разработана не для всех видов оборудования для составления годового графика технического обслуживания и диагностирования электрооборудования по форме 1.1 все электрическое оборудование сельскохозяйственного предприятия делится на три группы:

– электродвигатели, магнитные пускатели, автоматы, установленные в животноводческих помещениях, ремонтных мастерских, кузницах, помещениях пилорам и др.;

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

– электрооборудование, которого нет в рекомендациях по организации ремонта и технического обслуживания на основе диагностирования.

Первая группа электрооборудования

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

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

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

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

$$n_{отк} = \frac{n_0}{n_{э.д.}} \cdot 100, \quad (1.19)$$

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 (птицы) n , в расчете на один установленный электродвигатель, определяется по формуле:

$$n = \frac{n'}{n_{э.д.}}, \quad (1.20)$$

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

Расчет годовой трудоемкости

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

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

Суммарная плановая годовая трудоемкость подсчитывается по формуле 1.21:

$$T_{1гр} = n_1 (K_{ТО1} \cdot t_{1ТО} + K_{Д1} \cdot t_{1Д} + t_{ТР1}) + n_2 (K_{ТО2} \cdot t_{2ТО} + \dots + K_{Д2} \cdot t_{2Д} + t_{ТР2}) + \dots + n_n (K_{ТОn} \cdot t_{nТО} + \dots + K_{Дn} \cdot t_{nД} + t_{ТРn}), \quad (1.21)$$

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 диагностирования единицы подгруппы электрооборудования за год (по графику);

$t_{1\text{ТО}}, t_{2\text{ТО}}, \dots, t_{n\text{ТО}}$ — трудоемкость одного ТО единицы подгруппы оборудования, чел-ч;

$t_{1Д}, t_{2Д}, \dots, t_{nД}$ — трудоемкость одного диагностирования единицы подгруппы оборудования, чел-ч;

$t_{\text{ТР1}}, t_{\text{ТР2}}, \dots, t_{\text{ТРn}}$ — годовая трудоемкость одного ТР единиц подгруппы оборудования, чел-ч.

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

Суммарная плановая годовая трудоемкость определяется по формуле 1.21:

$$T_{2\text{гр}} = n_1(t_{\text{ТО1}} + t_{\text{Д1}} + t_{\text{ТР1}}) + \dots + n_2(t_{\text{ТО2}} + t_{\text{Д2}} + t_{\text{ТР2}}) + \dots + n_n(t_{\text{ТОn}} + t_{\text{Дn}} + t_{\text{ТРn}}), \quad (1.22)$$

где $t_{\text{ТО1}}, t_{\text{ТО2}}, \dots, t_{\text{ТОn}}$ — годовая трудоемкость ТО единиц подгруппы электрооборудования, чел-ч;

$t_{\text{Д1}}, t_{\text{Д2}}, t_{\text{Дn}}$ — годовая трудоемкость диагностирования единицы подгруппы оборудования, чел-ч.

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

$$T_{3\text{гр}} = n_1(K_{\text{ТО1}} \cdot t_{\text{ТО1}} + K_{\text{ТР1}} \cdot t_{\text{ТР1}}) + n_2(K_{\text{Т2}} \cdot t_{\text{Т2}} + K_{\text{ТР2}} \cdot t_{\text{ТР2}}) + \dots + n_n(K_{\text{Тn}} \cdot t_{\text{Тn}} + K_{\text{ТРn}} \cdot t_{\text{ТРn}}), \quad (1.23)$$

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

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

Суммарная годовая плановая трудоемкость ТО, Д и ТР всех трех групп электрооборудования вычисляется по формуле 1.24:

$$T = T_{1\text{гр}} + T_{2\text{гр}} + T_{3\text{гр}}. \quad (1.24)$$

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.

Определение численности обслуживающего электротехнического персонала

Для выполнения годового планируемого объема работ по техническому обслуживанию, диагностированию и текущему ремонту число электромонтеров может определяться двумя методами:

1) исходя из суммарного числа условных единиц электрооборудования хозяйства ($\sum y. e.$);

2) исходя из планируемого годового объема трудоемкости ТО, Д и ТР электрооборудования хозяйства (T), чел-ч.

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

$$N = \frac{\sum y. e.}{100}. \quad (1.25)$$

По второму методу численность электромонтеров определяется по формуле:

$$N = \frac{1,1 \cdot T}{(\Phi - \Phi_{\text{пер}}) K_{\text{вн}}}, \quad (1.26)$$

где 1,1 — коэффициент неучтенных работ;

Φ — действительный годовой фонд рабочего времени, ч;

$\Phi_{\text{пер}}$ — время, затрачиваемое электромонтером на переезды, ч;

$K_{\text{вн}}$ — коэффициент выполнения нормы, $K_{\text{вн}} = 1,1-1,15$.

Действительный годовой фонд рабочего времени электромонтера подсчитывается по формуле:

$$\Phi = (d_K - d_B - d_{\text{П}} - d_O) z \eta, \quad (1.27)$$

где $d_K, d_B, d_{\text{П}}, d_O$ — 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 определяется по формуле:

$$N_{\text{опр}} = \frac{T_{\text{опр}}}{\Phi \cdot K_{\text{ВН}}}. \quad (1.28)$$

В том случае, если оперативные работы выполняются электроремонтной бригадой совмещаются с плановыми, то 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 по действующим нормам в процентах от численности электромонтеров.

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 позволяет сократить объем ремонтных работ, увеличить срок службы электрооборудования повысить его надежность и экономичность 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 приняты трудозатраты на ремонт и обслуживание

электродвигателя мощностью 10 кВт с комплектом пускозащитной аппаратуры. Перевод электротехнического оборудования в у. е. э. выполняется по нормам, приведенным в таблицах системы ППРЭСх.

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?

1.6. ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ (ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ)

Содержание

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

Следует отметить, что электрооборудование состоит из элементов, различной 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, а также методическими указаниями по организации эксплуатации энергетического оборудования в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях профилактические испытания являются самостоятельным видом работ и проводятся 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. Профилактические испытания являются составной частью ПТЭ и ПТБ и обязательны для выполнения энергетическими службами агропромышленных предприятий.

При проведении профилактических испытаний основное внимание уделяют изоляции, которая является — самым слабым элементом электрооборудования и вызывает наибольшее число его отказов.

Испытания действующих электроустановок потребителей номинальным напряжением до 220 кВ (независимо от их ведомственной принадлежности), 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 Министерства энергетики Республики Беларусь и инструкциями заводов-изготовителей.

Конкретные сроки испытаний электроустановок определяются лицом, ответственным за электрохозяйство в зависимости от местных условий и состояния установок на основе норм и ведомственной или местной системы планово-предупредительного ремонта (ППР) в соответствии с типовыми и заводскими инструкциями.

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.

Полученные при испытаниях значения параметров должны быть сопоставлены с исходными, а также с 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 полученные при приемосдаточных испытаниях или испытаниях по окончании восстановительного ремонта значения параметров. Если отсутствуют и эти значения, то за исходные разрешается 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 полуторакратному значению испытательного напряжения промышленной частоты.

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

К — испытания при капитальном ремонте электрооборудования;

Т — испытания при текущем ремонте электрооборудования;

М — 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, проводить при температуре изоляции, как правило, не ниже $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, (кроме специально оговоренных в нормах случаев, когда требуется более высокая температура).

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

При испытании изоляции обмоток вращающихся машин, трансформаторов и реакторов повышенным напряжением промышленной частоты каждая электрически независимая цепь или параллельная ветвь (при наличии полной изоляции между ветвями) должна быть испытана поочередно. 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 разъединения.

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

Скорость подъема напряжения до $\frac{1}{3}$ испытательного значения может быть произвольной. Далее испытательное напряжение должно постепенно подниматься с такой скоростью, чтобы был возможен визуальный отсчет по измерительным приборам, и по достижении установленного значения оно поддерживалось неизменным в течение всего времени испытания. После требуемой выдержки величина напряжения плавно снижается до $\frac{1}{3}$ испытательного значения 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 одноминутное 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 его 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 на измерительное устройство температуры, влиянием на него внешних электромагнитных и электростатических полей, 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 $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тангенс угла диэлектрических потерь основной изоляции измеряется при напряжении 10 кВ у электрооборудования и вводов на номинальное напряжение 10 кВ и выше или 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

Таблица 1.1

Сроки и нормы профилактических испытаний сопротивления изоляции электрооборудования

Тип электропроводки и электрооборудования	Указания по измерениям (напряжение мегомметра, периодичность и др.)	Норма сопротивления МОм
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
Силовые и осветительные проводки; распределительные устройства, щиты; электрические аппараты 0,38–0,66кВ	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
Ручной электроинструмент и переносные светильники	500 В. Периодичность — по системе ППРЭСх, но не реже 1 раза в 6 лет	0,5

при факторах внешней среды, отличающихся от нормальных (температура воздуха ± 20 °С, абсолютная влажность — 11 г/м^3 , атмосферное давление — $101,3 \text{ кПа}$, и если в стандартах на электрооборудование не приняты другие пределы), то значение испытательного напряжения должно определяться с учетом поправочного на условия испытания коэффициента, регламентируемого соответствующими стандартами.

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

Работа силовых трансформаторов на холостом ходу 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:

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

2) 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;

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

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

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

Сроки и нормы профилактических измерений и испытаний приведены в табл. 1.1.

Стандартизация и сертификация при испытаниях. Аккредитация испытательных лабораторий

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

Так, для силовых трансформаторов определяют коэффициент абсорбции $\frac{R_{60}}{R_{15}}$, 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, которое не должно отличаться более чем на $\pm 2\%$ от значений заводских или эксплуатационных измерений. Проверяют состояние индикаторного силикагеля воздухоосушительных 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 находилось 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 составить не более 30 Ом·м при удельном сопротивлении грунта $\rho \leq 100$ Ом·м (не более $0,3\rho$ при $\rho > 100$ Ом·м), а нейтралей трансформаторов и генераторов — не более 4 Ом, при $\rho \leq 100$ Ом·м (не более $0,04\rho$ 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.

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, а также конкретные измерения и испытания.

Аттестация лаборатории — проверка поверочной или испытательной лаборатории для 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:

- 1) юридический статус или являться самостоятельным структурным подразделением организации, имеющей юридический статус;
- 2) организационную схему, определяющую обязанности и структуру лаборатории, позволяющую ей выполнять свои технические функции;
- 3) постоянный штат сотрудников, включая руководителя, полномочия и возможности которого должны обеспечивать выполнение возлагаемых сотрудникам обязанностей;
- 4) специалистов, имеющих соответствующее образование, профессиональную подготовку и опыт, необходимые для выполнения возложенных на них обязанностей;
- 5) руководителя, ответственного за выполнение всех технических операций в лаборатории;
- 6) руководителя, ответственного за систему качества и ее применение.
- 7) документированную систему внутреннего контроля за достоверностью и объективностью результатов поверки и испытаний, включая участие в межлабораторных сличениях.

Функции технического руководителя и руководителя в области качества могут быть возложены на отдельных сотрудников (сотрудника) лаборатории.

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 другие документы по качеству должны устанавливаться:

1) политику в области качества, осуществляемую руководством лаборатории;

2) 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.);

3) процедуры учета, контроля и использования документации;

4) 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 том числе в отсутствия штатных руководителей (передача полномочий);

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

6) 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;

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

8) 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;

9) процедуры работы с объектами испытаний и их поверки порядок поступления, регистрации, прохождения, узаконения и выдачи заказчику объектов испытаний;

10) перечень применяемого измерительного оборудования, включая используемое вне лаборатории, в том числе и не принадлежащее ей, применяемое при проведении поверки, испытаний и измерений;

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

12) процедуры рассмотрения претензий (рекламаций);

13) правила обеспечения конфиденциальности и охраны прав собственника;

14) процедуры проверки и ознакомления с деятельностью лаборатории;

15) 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 соответствия ее деятельности установленным требованиям.

Система качества должна анализироваться и рассматриваться (по крайней мере раз в год) руководством лаборатории или другими сотрудниками (по поручению руководства), для оценки ее деятельности 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 осуществление этих действий в течение установленного промежутка времени.

В дополнение к периодическим проверкам лаборатория должна участвовать в мероприятиях, обеспечивающих качество выполняемых работ.

К этим работам относятся:

1) участие в программах контроля качества и межлабораторных сличениях;

2) организация внутреннего контроля с использованием статистических методов обработки результатов измерений;

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

4) инспекционный контроль и внутрилабораторные испытания стандартных образцов, изделий и материалов, имеющихся в лаборатории;

5) корректировка межповерочных интервалов используемых средств измерений.

Персонал, проводящий поверку средств измерений, должен иметь квалификацию поверителя в соответствующей области измерений, а также свои обязанности и полномочия.

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, ее 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 оборудования, эксплуатация эталонов и измерительного оборудования, должны гарантировать достоверность результатов измерений. Этому должно уделяться особое внимание, если данная деятельность ведется на местах, отличающихся своими условиями от стационарных (временные рабочие места, передвижные лаборатории и т. д.).

Лаборатория должна располагать возможностями управления условиями окружающей среды, их контроля и регистрации. Соответствующим образом должны быть учтены температура, ее изменения, 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 результаты измерений должны быть внесены компенсирующие поправки. В этом случае регистрационные записи должны содержать первоначальные 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 посторонним лицам должен быть воспрещен.

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

Лаборатория должна быть оснащена измерительным оборудованием, необходимым для проведения поверок и испытаний, в соответствии с областью ее деятельности. В случаях использования оборудования другой организации, лаборатория должна осуществлять контроль этого оборудования с целью соблюдения соответствующих требований [23].

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 обслуживаться надлежащим образом, а процедуры обслуживания должны быть 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 его метрологические характеристики, должен быть опломбирован или ограничен другим способом, чтобы предотвратить вмешательство неуполномоченных на это сотрудников. Пломбы должны иметь такую конструкцию, чтобы вмешательство таких сотрудников 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 следующие данные: дата последней поверки, когда оборудование должно проходить следующую поверку, и кто является ответственным за предстоящую поверку.

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

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

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

Для учета оборудования и его технического состояния должны регистрироваться следующие сведения:

- 1) наименование и тип оборудования;
- 2) предприятие-изготовитель (фирма);
- 3) заводской и инвентарный номер;
- 4) даты изготовления, получения и ввода в эксплуатацию;
- 5) состояние при покупке или вводе в эксплуатацию;
- 6) место расположения стационарного оборудования и размещение переносного и движимого оборудования;
- 7) дата и результаты поверки (аттестации, сличений) и дата последующей поверки;
- 8) неисправности, ремонты и техобслуживания.

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; 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); использовать методики, имеющиеся в международных, межгосударственных и национальных стандартах, либо собственные методики, 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, а также специальные методики получения и обработки данных. Эти 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.

При 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 процессе самой поверки или испытаний. Если объекты или их составные части должны храниться или находиться в специальных условиях окружающей среды, то эти условия должны соблюдаться, а также иметь документы, регламентирующие получение, хранение и безопасность размещения средств измерений и объектов испытаний.

Лаборатория должна располагать системой регистрации результатов поверки и испытаний. Эта система должна соответствовать существующим правилам, указанным в НД или установленным в лаборатории. Регистрация результатов измерений, испытаний должна содержать необходимую информацию, позволяющую провести их повторно, а также определить персонал, ответственный за подготовку и проведение поверки и испытаний.

Все материалы регистрации, свидетельства и протоколы должны надежно храниться, и быть недоступными для посторонних лиц.

Результаты 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 включать всю информацию, связанную с оценкой проводимых работ.

Каждое свидетельство или протокол должны включать в себя следующее:

1) заголовок (свидетельство о поверке или испытании, протокол поверки или испытания);

2) наименование лаборатории, где проводились поверка или испытания;

3) номер свидетельства, протокола;

4) наименование организации заказчика;

5) наименование (тип) средства измерений или объекта испытаний, характеристики этого средства или объекта;

6) дату проведения (начало-окончание) поверки или испытаний, а при необходимости — дату получения объекта;

7) тип, номер применяемого измерительного оборудования (включая эталоны, стандартные образцы);

8) наименование и обозначение НД, на основании которого проводится поверка или измерения;

9) описание методики отбора образцов;

10) информацию, относящуюся к специфике поверки или испытания (например, условия окружающей среды и т. п.), а также любые отклонения, дополнения или исключения из методики и другое;

11) полученные результаты измерений и зарегистрированные отказы;

12) оценку погрешности результатов измерений или поверки;

13) подпись и должность (или соответствующая идентификация) лица, ответственного за оформление; содержание свидетельства и протокола, дату его выдачи;

14) 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. Аккредитация и аттестация испытательных лабораторий.
4. Принципы стандартизации и сертификации при испытаниях.
5. Последовательность аккредитации испытательных лабораторий.

1.7. ОСОБЕННОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ (КР)

Содержание

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

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 их капитального ремонта или списания.

Капитальный ремонт электрических машин проводится, как правило, на специализированных электроремонтных предприятиях. В условиях сельского хозяйства значительное количество электрических машин еще ремонтируется на небольших ремонтных предприятиях и в цехах, не имеющих специального технологического оборудования. Здесь отмечается большая доля ручного труда, не всегда выдерживается технологическая дисциплина, а себестоимость ремонта превышает себестоимость ремонта на специализированных предприятиях.

Электрические машины подлежат капитальному ремонту при наличии хотя бы одной из следующих неисправностей: 1) межвитковое замыкание в обмотках; 2) обугливание изоляции обмоток; 3) снижение сопротивления изоляции ниже нормы, не поддающееся восстановлению сушкой; 4) обрывы бандажей ротора; 5) повреждение узла контактных колец и коллектора, требующее для ремонта разборки; 6) трещины в корпусе и подшипниковых щитах; 7) изгиб вала, износ или повреждение его шеек; износ или повреждение посадочных мест в корпусе и подшипниковых щитах.

Решение о капитальном ремонте электрических машин, относящихся к основному энергетическому оборудованию, должно приниматься в каждом отдельном случае в зависимости от технических, экономических и производственных факторов, определяющих целесообразность ремонта.

Общими требованиями к сдаваемому в капитальный ремонт электрооборудованию являются следующие: 1) оно должно быть очищено от масла, пыли и других загрязнений; 2) собрано и полностью укомплектовано (допускается прием в ремонт при частичном отсутствии мелких крепежных деталей, гаек и др.); 3) должны отсутствовать отступления 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, в значительной степени 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.

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 (рис. 1.15): разборка, дефектация и определение объема ремонта; ремонт, изготовление и замена деталей; сборка, испытания и окраска машины.

В цехе на комплектовочном участке производят приемку машин в ремонт и передают их в дефектационно-подготовительное отделение. После разборки их машин части сдают в ремонт другим отделениям.

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

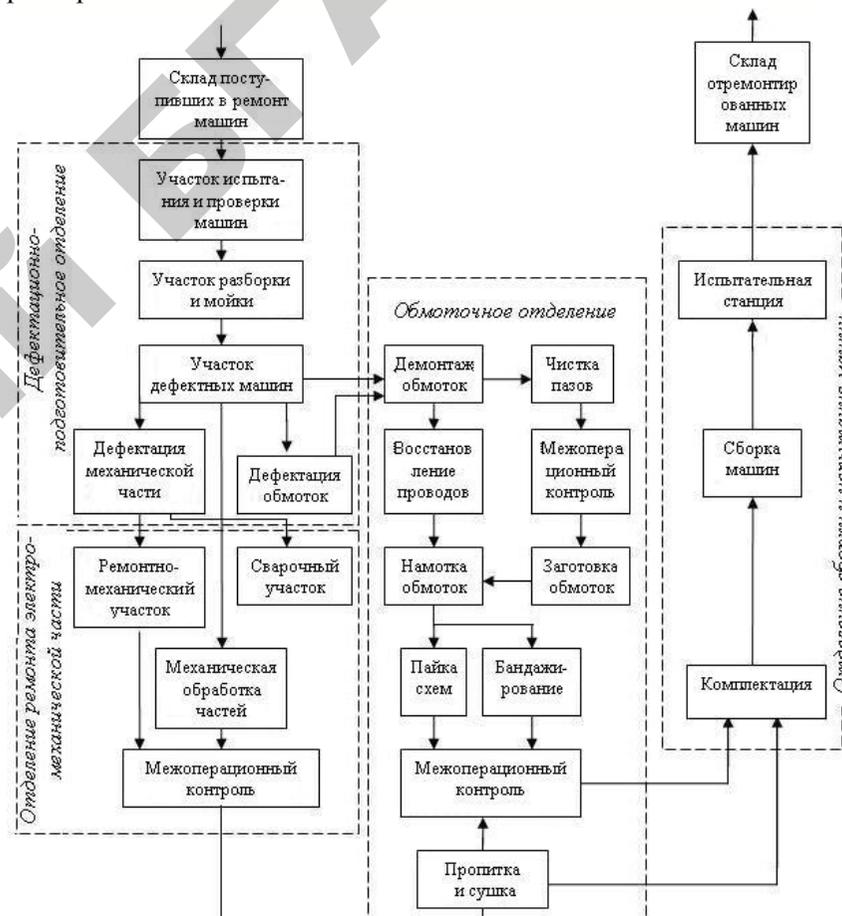


Рис. 1.15. Типовая структурно-технологическая схема ремонта электрических машин

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.

Осмотр, разборка, дефектация и подготовка электрической машины к ремонту

Электрическая машина, поступающая на ремонт, должна быть укомплектована всеми необходимыми деталями; при этом 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:

- 1) отвинчивают гайки и вынимают болты переднего и заднего подшипниковых щитов, а также фланцев переднего и заднего подшипников;
- 2) специальными съемниками или выколотками из цветного металла снимают задний подшипниковый щит, (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;
- 3) 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;
- 4) снимают с подшипника передний щит с помощью специального приспособления;
- 5) навешивают 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, наличие в них трещин. Места, вызывающие сомнения, осматривают через лупу для обнаружения «волосных» 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 (прибор КИ-1223), 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.

Особое внимание обращают 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, а также 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. Величину сопротивления изоляции измеряют между коллектором и валом, обмоткой и контактными кольцами. Затем 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 находиться в пределах, указанных в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Величина воздушного зазора, мм

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 величины тока холостого хода и уменьшение коэффициента полезного действия.

При дефектации особое внимание обращают на электрическую часть машины, где, как правило, встречаются следующие 3 неисправности: обрыв цепи, замыкание между фазными обмотками или обмоткой и корпусом, межвитковое замыкание. Эти неисправности 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, можно определить вольтметром, а в цепи с параллельными ветвями — омметром или вольтметром (после распайки ветвей). Следует отметить, что величина сопротивления в цепи с обрывами всегда значительно больше его расчетного значения.

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

Если показания приборов, не зависящие от положения ротора, являются различными, то это указывает 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 обрыв в цепи короткозамкнутого ротора и витковое замыкание в цепи статора или якоря (машины постоянного тока) определяют, используя для этого электромагнит. Ротор помещают на электромагнит и поворачивают его 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 его расточку помещают в электромагнит и передвигают его 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 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 ее части), если витковое замыкание имеет место, то на экране кривые раздваиваются. Прибор ВЧФ5-3 позволяет определять наличие дефектов в витковой изоляции и пробивное напряжение изоляции в месте дефекта. Контроль витковой изоляции рекомендуется проводить при напряжении 1500 В.

Ремонт и изготовление новых обмоток

Способы удаления поврежденной обмотки. При механическом способе удаления обмотки 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 обмотки. 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 удаления обмотки называют термомеханическим.

Корпус статора устанавливают в печи горизонтально. Вертикальное размещение недопустимо, поскольку может ослабнуть посадка сердечника в корпусе и произойти его сдвиг. Статор с алюминиевым корпусом операции выжига не подвергают из-за того, что изменяются размеры корпуса и ослабевает посадка сердечника. При выжиге изоляции роторов контактные кольца должны быть сняты. Повышать температуру более 350 °С нельзя, поскольку может произойти нарушение листовой изоляции сердечника и магнитных свойств электротехнической стали в сторону ухудшения. Для удаления образующихся при обугливаниях изоляции вредных газов печи оборудуются вытяжной вентиляцией. 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 %-м 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.

Наиболее прогрессивным считается 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 она 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 составляет 63 кВт, средняя производительность — 160 статоров в смену. Перед началом работы установку 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 них укладывают заранее подготовленную главную изоляцию (гильзование пазов) и обмотку, вставляя при этом межфазную изоляцию и пазовые клинья. Затем соединяют обмотку статора в соответствии со схемой, сваривают обмотку с помощью графитового электрода и трансформатора (вторичное напряжение, составляет 6–18 В, мощность — 1 кВ·А) и изолируют ее.

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

Чтобы не повредить изоляцию катушек при ее укладке, необходимо применять специальный инструмент (деревянные молотки, фибровые или текстолитовые доски и клинья).

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

Перед двух- и трехкратной пропиткой изоляцию обмотки испытывают повышенным напряжением (относительно корпуса и между фазами), проверяют наличие межвитковых замыканий, и правильность схемы сборки. 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 процесса сушки в печи должна происходить циркуляция воздуха.

После укладки, (соответственно соединения, пропитки и сушки) обмоток осуществляют межоперационный контроль.

Замена устаревших материалов. При ремонте электродвигателей серий А(АО) и А2(АО2) их 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) заменяют 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 этих проводов высокая электрическая прочность, а также хорошая влаго- и химостойкость при 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 клина (в электродвигателях с изоляцией класса нагревостойкости Е — буквый пазовый клин, классов Вир — стекло-текстолитовый).

Обмотки бандажируют электроизоляционными чулками типа АСЭЧ. Для выводных концов используют высококачественные установочные провода марок ПТЛ200, РКГМ и проч.; для изоляции выводов катушек, соединений внутри машин и мест паек — электроизоляционные трубки ТЭ4 и ТКС. Вместо масляно-битумных пропиточных и покровных лаков № 447, 460 и проч. 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, их влаго-, химо- и теплостойкость, а также теплопроводность обмоток.

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

Первый способ. При начальной температуре детали 18–22 °С заваривают трещину 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 суток или более. При этом способе обеспечивается очень хорошее качество шва.

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

При изменении размеров замка его торцовую поверхность срезают на 2–3 мм и на эту же длину протачивают посадочную поверхность нового диаметра. При этом 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, выбоины и шероховатости шеек вала устраняют

шлифовкой и полировкой вручную или на станке. Изношенные шейки валов наплавляют, 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 Ст 45.

Шарико- 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) и 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, температура которого составляет не более 100 °С. Если они не подлежат съему с вала, то их надевают на него, 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 отсутствующую часть из твердого изоляционного материала.

Короткозамкнутые обмотки роторов выполняют литыми или сварными. Типичным повреждением литой обмотки является 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 должно быть более двух на каждом кольце). Поврежденные места очищают от грязи и промывают бензином. Места трещин расширяют и разделяют по форме ласточкиного хвоста, (не более $\frac{2}{3}$ 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 и 65 % цинка (или 63 % олова, 33 % цинка, 4 % алюминия). В процессе лужения протирают залужен-

ную поверхность щеткой из кардоленты. Облуженную трещину заполняют припоем, подавая его с прутка. Излишки припоя снимают в горячем состоянии стальной гладилкой. Трещины также могут быть устранены аргоно-дуговой сваркой.

Литые обмотки, имеющие обрывы стержней, не восстанавливаются. При обрывах стержней можно выплавить алюминий из пазов обмотки и залить туда новый. Однако даже на крупных электроремонтных предприятиях такой ремонт не производят из-за того, что для заливки обмотки требуется большое количество оснастки (на каждый тип ротора — свой литейный кокиль), первичного алюминия, при этом отсутствует гарантия получения высокого качества заливки.

При ослаблении или нарушении контакта стержня и кольца проводят ремонт сварной обмотки. Для этого зачищают и паяют поврежденное место медно-фосфористым припоем. В этом случае при пайке не следует допускать перегрева меди. При ослаблении стержня в пазу выполняют расчеканку.

Трещины стержней, расположенные на выступающей из сердечника их части, устраняют сваркой, (если глубина трещины не превышает $\frac{1}{4}$ толщины стержня). Если трещина стержня более глубокая, то его ремонт усложняется.

Отремонтированные роторы необходимо динамически балансировать.

Ремонт коллекторов и контактных колец. К наиболее часто встречающимся дефектам относятся: царапины, выработка и подгорание контактных пластин, трещины в пластмассе, ее местное выгорание, электрический пробой изоляции, замыкание пластин на корпус и между собой, распайка пластин с обмоткой.

Коллекторы на пластмассе, как правило, ремонтируются без их разборки, а на стальной втулке разбираются по необходимости. В последних заменяются отдельные контактные и изоляционные пластины.

При ремонте коллектора без разборки его обтачивают, фрезеруют канавки, шлифуют и полируют. Обточкой устраняют неровности, появившиеся из-за изнашивания или повреждения коллектора. При малых неровностях его достаточно отшлифовать. Коллектор протачивают 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). Канавки между пластинами в некоторых случаях делают вручную ножовочным полотном или специальным скребком. При этом

на боковых сторонах канавок не должно оставаться чешуек слюды (границы пластин коллектора обрабатывают шабером или тонким напильником). Канавки приводят в порядок при любом ремонте коллектора, даже если его не протачивали.

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

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

После полирования коллектор протирают чистой салфеткой, смоченной бензином. Поверхность коллектора 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 и снимают комплект пластин с хомутом. Осматривают коллектор и устраняют обнаруженные повреждения: спиливают острые углы типа «ласточкин хвост» 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 его ремонте с разборкой аналогична технологии обработки поверхности без разборки. Отремонтированный коллектор проверяют и, убедившись в отсутствии замыканий, направляют его 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). При этом обычно 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 и она должна выдерживать пробивное напряжение не менее 2,5 кВ при рабочем напряжении двигателя 220–380 В.

Испытания электрических машин после ремонта

После ремонта производится обкатка электрических машин и их приемо-сдаточные испытания по нормам, приведенным в ПТЭ. Общие методы испытаний электрических машин изложены в ГОСТ 11828—75. Заключение о пригодности к эксплуатации дается на основании сравнения результатов испытаний с нормами, а также и по совокупности результатов всех проведенных испытаний и осмотров. Значения полученных при испытаниях параметров должны быть сопоставлены с исходными, а также с результатами предыдущих испытаний электрических машин.

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

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

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

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

3) испытание повышенным напряжением промышленной частоты обмоток статора и ротора при собранном двигателе 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, и если сопротивление изоляции, измеренное мегомметром после испытаний, осталось прежним;

4) 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 значений и по фазам должно составлять не более 2 %, для реостатов — не более ± 10 %;

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

6) измерение воздушного зазора (если позволяет конструкция) в четырех, сдвинутых на 90°, точках (измеренные зазоры не должны отличаться от их среднего значения более чем на 10 %) и зазоров в подшипниках скольжения и качения;

7) 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 значения. Продолжительность испытания составляет 1 ч;

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

9) проверка работы двигателя (напряжением выше 1 кВ или мощностью 300 кВт и более) под нагрузкой. Величина нагрузки должна составлять не менее 50 % от ее номинального значения;

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

Вопросы для самоконтроля

1. Организация капитального ремонта электрооборудования.
2. Диагностирование отдельных узлов электрооборудования при капитальном ремонте.
3. Методы неразрушающего контроля.
4. Диагностирование электрооборудования после капитального ремонта.

МАТЕРИАЛЫ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

Расчет надежности систем автоматического управления электроприводами в сельскохозяйственном производстве

Цель работы: приобрести навыки расчета надежности системы автоматического управления электропривода.

План работы:

1. Ознакомиться с основными терминами
2. Изучить примеры расчета надежности систем.
3. По заданию преподавателя (на основе примеров) рассчитать надежность системы.

Рекомендации по выполнению практической работы

Теоретическая часть (общая)

Автоматизированная система управления электроприводом и электрифицированными устройствами в современном сельскохозяйственном производстве характеризуется наличием большого количества различных машин, механизмов, аппаратов, приборов и других элементов. Бесперебойная работа этих элементов и собранных из них систем определяется устойчивой работой, надежностью каждого элемента.

Надежность — это свойство элемента или всей системы устойчиво, бесперебойно и безотказно работать в течение определенного, заранее заданного промежутка времени при данных условиях. Надежность оборудования имеет большое технико-экономическое значение для производства, поскольку предупреждает непредвиденные остановки и простои машин, агрегатов и поточных линий или всего хозяйства. Чем из большего числа элементов (машин, приборов, аппаратов,

блоков) состоит система (автоматизированный электропривод, агрегат, поточная линия и пр.), тем больше вероятность нарушения ее бесперебойной работы, и тем большие требования предъявляются к надежности каждого элемента и всей системы в целом. В общем виде надежность элемента или системы определяется сочетанием безотказности работы, ремонтпригодностью и долговечностью.

Безотказность — это свойство элемента сохранять свою работоспособность в течение некоторого периода времени без перерыва, что характеризуется закономерностями устранения отказов. С точки зрения ремонтпригодности элементы бывают ремонтируемые и неремонтируемые (восстанавливаемые и невосстанавливаемые). В первом случае при возникновении отказа элемент ремонтируется, после чего он может выполнять свои функции. Во втором случае отказавший элемент или не подлежит или не нуждается в ремонте, т. е. не ремонтируется (не восстанавливается) по техническим или экономическим причинам.

Долговечность — это свойство элемента сохранять свою работоспособность до некоторого предельного состояния; работоспособность поддерживается необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонтов. Предельное состояние элемента устанавливается по изменениям его параметров, условиям безопасности, экономическим показателям, необходимостью капитального ремонта и пр. Показателем долговечности элемента является ресурс его работы или срок службы, представляющий собой суммарную наработку или календарную продолжительность эксплуатации этого элемента до предельного состояния. Этот показатель можно характеризовать амортизационным сроком службы элемента.

Надежность неработающего элемента сохраняется при его правильном хранении, а у работающего элемента она поддерживается планомерным уходом и обслуживанием, контролем и профилактическим ремонтом. При проектировании элемента или системы должно быть учтено качество применяемых исходных материалов, деталей, комплектов. Выбор комплектующих деталей, блоков и узлов должен проводиться с учетом климатических и производственных условий работы системы. Спроектированная система или ее элемент должны иметь необходимую механическую, электрическую и тепловую прочность, требуемую точность и надежность в заданных условиях эксплуатации и удовлетворять всем требованиям по своим функциональным свойствам и характеристикам. Надежность системы или ее элемента значительно повышается

при использовании унифицированных деталей, узлов, а также типовых и стандартных модулей, блоков, комплектов.

При проектировании элементов предусматривается доступность всех их частей для осмотра, контроля, ремонта или замены. В сложных системах необходимо применять устройства для автоматического контроля исправности каждого элемента или всей системы в целом. Проектировать построение схем, конструкции элементов и систем надо так, чтобы отказ в работе отдельного элемента не приводил к аварийной ситуации всей системы.

При производстве элементов необходимо осуществлять контроль качества всех деталей, из которых собирается элемент. Недоброкачественная замена сорта материала или комплектующих деталей, нарушение технологии сборки и правил электрического монтажа изделий является недопустимыми.

При эксплуатации элементов и систем необходимо следить за климатическими и производственными условиями работы этих систем и элементов. Необходим продуманный порядок их обслуживания и надлежащий уход (периодический контроль, осмотр, чистка, подналадка и своевременная замена износившихся деталей, блоков, элементов системы). При этом очень важно правильно подобрать обслуживающий и эксплуатирующий персонал соответствующей квалификации и подготовки.

Влияние отдельных факторов на надежность элементов и систем характеризуют приближенные данные по отказам. Так, из общего количества отказов 40–50 % их происходит по причинам связанными с проектированием; 20 % — с производством и изготовлением элементов; 30 % — с условиями эксплуатации, неправильным режимом работы или неправильным обслуживанием и 5–7 % отказов происходит в силу естественного износа и старения элементов.

Следует отметить, что при рассмотрении вопросов надежности элементов или систем обычно применяется специфическая терминология (ГОСТ 13377—67).

ТЕХНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ НАДЕЖНОСТИ И ИХ РАСЧЕТ

Основные законы распределения

Надежность можно характеризовать различными критериями или показателями. Сама по себе надежность — это качественное

свойство элементов системы, которое количественно характеризуется перерывами в работе, вызванными отказами. Время между соседними отказами (событиями) является случайной величиной. С точки зрения вероятности событий эта случайная величина может быть определена, если известна ее функция распределения. В частности, время между двумя соседними событиями описывается дифференциальным законом распределения, представляющий собой некоторую непрерывную функцию времени. С точки зрения теории вероятности эта функция полностью описывает случайную величину — время между соседними событиями (отказами).

В зависимости от физического смысла случайной величины, могут применяться различные законы распределения. При расчетах критериев надежности находят применение такие законы, как: экспоненциальный, нормального распределения, Релея, Гамма, Вейбулла, логарифмический и др.

Эти законы выявляют принципы распределения и позволяют с большой точностью определять количественные характеристики различных критериев надежности. Однако, для практических расчетов эти законы довольно сложны, а отсутствие некоторых данных необходимых для составлений уравнений, затрудняет применение этих законов. Поэтому для практических расчетов критериев обычно пользуются статистическими данными, полученными при лабораторных исследованиях или при эксплуатации систем. Уравнения, построенные для расчета критериев надежности по этим данным, оказываются довольно простыми и точность получаемых величин вполне достаточна для практических целей.

Надежность ремонтируемых элементов

1. *Вероятность безотказной работы (P)* является функцией времени $P(t)$ и характеризуется безотказной работой в течение заданного периода времени T_3 , т. е.:

$$P(t) = P(T_3 > t). \quad (1.29)$$

Этот критерий часто отождествляют с понятием «надежность», которую также обозначают P . Его величина находится в пределах от 0 до 1 (для практически недостижимой надежности $P = 1$). Обычно P равно 0,40–0,98.

По статическим данным величину вероятности безотказной работы определяют или как вероятность того, что элемент или сис-

тема проработает безотказно в течение требуемого интервала времени Δt , начиная с момента $t = 0$, или как вероятность того, что случайное время работы элемента до отказа окажется больше требуемого интервала времени работы Δt . Тогда,

$$P(\Delta t) = \frac{N(\Delta t)}{N(0)} = \frac{1 - n(\Delta t)}{N(0)}, \quad (1.30)$$

где $N(\Delta t)$ — количество элементов, проработавших без отказа в течение заданного интервала времени Δt ;

$N(0)$ — количество элементов в начальный момент времени при $t = 0$;

$n(\Delta t)$ — количество элементов, отказавших в интервале времени Δt .

2. Вероятность отказа (Q) является функцией времени $Q(t)$ и характеризуется отказом работающего элемента в любой случайный элемент времени. Она является обратной величиной вероятности безотказной работы, т. е.

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (1.31)$$

По статистическим данным вероятность отказа определяют как вероятность того, что элемент (система) откажет в течение заданного промежутка времени, начав работу в момент времени $t = 0$, или как вероятность того, что случайная продолжительность времени работы элемента до его отказа окажется меньше требуемого интервала времени безотказной работы. Вероятность отказа можно представить в виде уравнения:

$$Q(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N(0)}. \quad (1.32)$$

Такое уравнение можно получить из (1.30) и (1.31).

3. Частота отказов (a) работающего элемента (системы) является вероятностью его отказа в определенном интервале времени. Она представляет собой число отказов в единицу времени, отнесенное к числу приборов (элементов в системе), участвовавших в работе, в течение всего интервала времени Δt . Частот отказов можно представить в следующем виде:

$$a(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N(\Delta t)}, \quad (1.33)$$

где $n(\Delta t)$ — число отказавших элементов в интервале времени от $t - \frac{\Delta t}{2}$ до $t + \frac{\Delta t}{2}$.

Уравнение (1.33) можно записать в следующем виде:

$$n(\Delta t) = -[N(t + \Delta t) - N(t)], \quad (1.34)$$

где $N(t)$ число элементов, исправно работавших к начальному моменту времени t , а $N(t + \Delta t)$ — к концу работы ($t + \Delta t$). При большом числе участвующих в испытании элементов N_0 получим следующее выражение:

$$N(t) = N_0 \cdot P(t) \text{ и } N(t + \Delta t) = N_0 P(t + \Delta t). \quad (1.35)$$

Тогда,

$$a(t) = \frac{N_0 [P(t + \Delta t) - P(t)]}{N_0 \Delta t}. \quad (1.36)$$

При $\Delta t \rightarrow 0$ получим:

$$a(t) = \frac{\lim_{\Delta t \rightarrow 0} [P(t + \Delta t) - P(t)]}{\Delta t} = \frac{dP(t)}{dt} = P'(t), \quad (1.37)$$

откуда:

$$a(t) = \frac{d(a(t))}{dt} = Q'(t). \quad (1.38)$$

4. Интенсивность (опасность) отказов (λ) элемента (системы) является функцией времени $\lambda(t)$ и представляет собой вероятность отказа в единицу времени. Ее можно характеризовать числом отказов в единицу времени, отнесенных к среднему числу элементов исправно работавшим в заданном интервале времени:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp}(\Delta t)}, \quad (1.39)$$

где $N_{cp}(\Delta t) = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$ — среднее число исправно работавших элементов в интервале времени Δt ;

N_i и N_{i+1} — число элементов исправно работавших в начале и в конце того же интервала времени соответственно.

Интенсивность отказов и вероятность безотказной работы связаны между собой экспоненциальной зависимостью:

$$P(t) = e^{-\lambda(t)t}. \quad (1.40)$$

При установившемся значении отказов можно принять $\lambda(t) = \text{const} = \lambda$, и получим:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (1.41)$$

Следует отметить, что количественно интенсивность отказов относится на 1 ч работы или в процентах на 1000 ч работы (реже на 100 ч).

Интенсивность отказов связана не только с вероятностью безотказной работы, но и с частотой отказов. Так, из уравнений (1.33) и (1.39) можно составить уравнение для числа отказавших элементов.

Получим:

$$n(\Delta t) = n_t - n_{t+\Delta t} = n[P(t) - P(t + \Delta t)]. \quad (1.42)$$

Так как $N_{\text{ср}} = n \cdot P(t)$, то подставив все это в уравнение (1.39), получим

$$\lambda(t) = \frac{n[P(t) - P(t + \Delta t)]}{n \cdot P(t)}. \quad (1.43)$$

В пределе, когда интервал времени Δt стремиться к нулю, т. е. $\Delta t \rightarrow 0$, получим:

$$\lambda(t) = -\frac{d \cdot P(t)}{dt \cdot P(t)}. \quad (1.44)$$

Поскольку $\frac{d \cdot P(t)}{dt} = a(t)$, то

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}. \quad (1.45)$$

Отсюда

$$a(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = \lambda(t) e^{-\lambda t}. \quad (1.46)$$

Интенсивность отказов является часто применяемым критерием надежности. Величина его (как и всякого критерия надежности) существенно зависит от условий работы элемента. Для удобства учета влияния условий работы на надежность элемента пользуются так называемым коэффициентом надежности K_λ , который определяется из соотношения:

$$K_\lambda = \frac{\lambda_i}{\lambda_\delta}, \quad (1.47)$$

где λ_i — интенсивность отказов рассматриваемого элемента в данных условиях эксплуатации или в данном исполнении, λ_δ — интенсивность отказов базового (основного) элемента при нормальных (номинальных) условиях эксплуатации или исходного элемента формального исполнения. Величина этого коэффициента изменяется в зависимости от нагрузки, температуры, давления окружающей среды, вибрации и пр. В табл. 1.3 приведены значения коэффициента надежности для разных условий работы элемента.

Таблица 1.3

Величина коэффициента надежности при разных условиях работы элемента

Условия эксплуатации элемента	K_λ
В лабораториях и благоустроенных помещениях	1
В стационарных наземных устройствах	10
На кораблях при монтаже элементов в защищенных отсеках	17
На автоприцепах	25
На железнодорожных платформах	25–30
В высокогорных устройствах	80
В составе бортовой аппаратуры самолетов	120–150

5. Среднее время безотказной работы ($T_{\text{ср}}$) или средняя наработка до первого отказа $T_{\text{ср}}$, представляет собой время, в течение которого элемент работает безотказно. Оно является математическим ожиданием вероятного времени безотказной работы и определяется по формуле:

$$T_{\text{ср}} = \int P(t) dt. \quad (1.48)$$

Статистически среднее время безотказной работы однотипных элементов определяется по формуле:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i(t) dt}{N_0}, \quad (1.49)$$

где n_i — количество элементов вышедших из строя в каждый i -тый интервал времени;

N_0 — число элементов подвергавшихся испытанию;

$t_{срi} = \frac{t_{i-1} + t_i}{2}$ — среднее время, определяемое как полусумма

начала времени t_i i -го интервала и его конца t_i ;

$m = \frac{t_{N_0}}{\Delta t}$, где t_{N_0} — время, в течение которого отказывают все

элементы испытываемой партии;

$\Delta t = t_{i-1} - t_i$ — интервал времени отказов отдельных элементов.

При любом законе распределения вероятности во времени, интенсивность отказов при $t \rightarrow \infty$ имеет предел, равный величине обратной математическому ожиданию промежутков времени между отказами. Это можно записать следующим образом:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda(t) = \frac{1}{T_{ср}}. \quad (1.50)$$

При установившемся значении интенсивности отказов (когда можно принять $\lambda(t) = \text{const} = \lambda$) получим:

$$T_{ср} = \int e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (1.51)$$

Для таких же условий справедливо соотношение между частотой отказов и средним временем безотказной работы; с учетом (1.46) получим:

$$a(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t} = \frac{1}{T_{ср}} \cdot e^{-\frac{t}{T_{ср}}}. \quad (1.52)$$

Надежность ремонтируемых элементов

Перечисленные критерии надежности относятся ко всем элементам или системам, применяемых в ремонтируемых и неремонтируемых автоматических устройствах.

1. *Поток отказов* (ω) также является функцией времени $\omega(t)$. Он представляет собой вероятность отказов элементов в определенный период времени при условии, что отказавшие элементы восстанавливаются и вновь включаются в работу. Величина потока отказов может быть определена как отношение числа отказавших элементов в определенный период времени Δt к числу элементов за это же время в системе при условии, что все отказавшие элементы заменяются исправными (новыми или отремонтированными), т. е.

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t)}{N(\Delta t)}, \quad (1.53)$$

где $n(\Delta t)$ — число отказавших элементов в интервале времени Δt ,
 N — число элементов системы.

Если вероятность появления некоторого числа отказов в интервале времени от t до $t + \Delta t$ зависит только от Δt и не зависит от t , то поток отказов называют стационарным. В этом случае для каждого элемента будет справедливо соотношение:

$$\omega(t) = \text{const} = \frac{1}{T_{ср}}. \quad (1.54)$$

С учетом уравнения (1.51) для тех же условий получим:

$$\omega(t) = \lambda(t) = \text{const}. \quad (1.55)$$

2. *Расчетные коэффициенты.* Следует отметить, что критерий потока отказов характеризует надежность ремонтируемых элементов, но не учитывает времени, необходимого для их ремонта (восстановления). Поэтому поток отказов не характеризует готовность элемента к выполнению обеих функций в нужное время. Для учета готовности к работе элемента или системы, через которую он включен, вводятся два коэффициента (готовности и вынужденного простоя).

Коэффициент готовности K_r представляет собой отношение времени исправной работы элемента к сумме времени как исправной работы, так и времени простоя, вызванного ремонтом элемента:

$$K_r = \frac{t_p}{t_p + t_n}. \quad (1.56)$$

Коэффициент вынужденного простоя K_n определяется как отношение времени вынужденного простоя элемента t_n из-за его ремонта, к сумме времени как исправной работы t_p , так и времени простоя t_n .

$$K_n = \frac{t_n}{t_p + t_n}. \quad (1.57)$$

Преобразуя эти уравнения, получим:

$$K_n = 1 - K_r \quad (1.58)$$

Если анализ надежности восстанавливаемых систем показал, что имеется простейший поток отказов со средним временем безотказ-

ной работы T_{cp} , то $t_p=T_{cp}$. В этом случае коэффициенты готовности и простоя можно записать в следующем виде:

$$K_c = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + t_n}; K_n = \frac{t_n}{T_{cp} + t_n}. \quad (1.59)$$

Надежность систем

1. *Последовательное соединение элементов.* Если система состоит из нескольких элементов, включенных последовательно так, что отказ одного элемента вызывает отказ всей системы (основное соединение), то надежность этой системы снижается. Чтобы повысить надежность такой системы, необходимо повысить надежность каждого элемента этой системы. Вероятность безотказной работы системы при основном соединении в течение заданного промежутка времени зависит от вероятности безотказной работы каждого элемента системы в этом же промежутке времени. Общая вероятность безотказной работы такой системы определяется произведением вероятностей безотказной работы каждого элемента:

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \dots P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (1.60)$$

При одинаковой вероятности безотказной работы элементов системы, равной $P_i(t)$ для всех ее элементов в количестве n , вероятность безотказной работы системы будет определяться по формуле:

$$P_c(t) = [P_i(t)]^N. \quad (1.61)$$

Интенсивность отказов λ_c нормально работающих элементов системы, как правило, является величиной постоянной, т. е., $\lambda_c = \text{const}$. Время возникновения отказов обычно подчиняется экспоненциальному закону распределения, в связи с чем, уравнения для определения критериев надежности системы, будут иметь вид:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} = e^{-\frac{t}{T_{cpc}}}, \quad (1.62)$$

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (1.63)$$

или

$$\lambda_c = N \cdot \lambda_i \quad (1.64)$$

где N — число элементов,

$$a_c(t) = \lambda_c \cdot e^{-\lambda_c t} = \frac{1}{T_{cpc}} \cdot e^{-\frac{t}{T_{cpc}}}. \quad (1.65)$$

2. *Повышение надежности резервированием (избыточностью).* В системах при основном соединении неремонтируемых элементов, когда их отказ носит характер обрыва, надежность системы можно повысить повышением надежности каждого ее элемента или путем параллельного соединения нескольких элементов. Такое повышение надежности называется резервированием, которое можно осуществить разными путями. Так, резервные элементы подключаются к каждому основному, рабочему элементу в виде 1, 2 и т. д. кратных параллельных включений (раздельное резервирование). Параллельно с разной кратностью включений могут подключаться целые цепи или даже системы (дублирование) — общее резервирование.

Резервирование бывает 2-х видов: постоянное и замещения. При постоянном резервировании резервные элементы (цепи, системы) подключены к основным элементам и работают с ними в одинаковых режимах. При резервировании замещением резервные элементы не включены в сеть, не работают. Они включаются только после отказа основного элемента, т. е. замещают основной элемент.

При общем резервировании с постоянно включенным резервом и целой кратностью, вероятность безотказной работы системы возрастает и определяется по формуле:

$$P_c(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^N P_i(t) \right]^{m+1}, \quad (1.66)$$

где $P_i(t)$ — вероятность безотказной работы i -го элемента в течение времени t ;

N — число элементов основной или любой резервной цепи;

$m+1$ — кратность резервирования (число резервных цепей).

При общем резервировании замещением с целой кратностью, вероятность безотказной работы системы также повышается и может быть определена по формуле:

$$P_{m+1}(t) = P_m(t) + \int_0^t P(t) \cdot a_m(\tau) dt, \quad (1.67)$$

где P_{m+1} , P_m — вероятности безотказной работы резервированной системы с кратностями $m+1$ и m соответственно;

$P(t-\tau)$ — вероятность безотказной работы системы в течение времени $(t-\tau)$;

$a_m(\tau)$ — частота отказов резервированной системы кратности m в любой момент времени τ .

Практическая часть (примеры расчета надежности)

Пример 1. Партия выключателей испытывалась при номинальной нагрузке (напряжение, ток, постоянная времени цепи) на заданную наработку $N=10000$ циклов включено-выключено за время $t=100$ ч. Испытание выдержало 90,1 % выключателей. Определить интенсивность отказов на один цикл λ_N и суммарную интенсивность отказов λ_c , если начальная интенсивность отказов выключателя $\lambda=10 \cdot 10^{-5}$ 1/ч.

Решение. Принимая экспоненциальным закон изменения вероятности отказов (см. уравнение 10), находим:

$$\lambda_N = -\frac{\ln P}{N} = -\frac{\ln 0,901}{10000} = 0,105 \cdot 10^{-5} = 1,05 \cdot 10^{-7} \text{ 1/цикл.}$$

Суммарная интенсивность отказов определится уравнением:

$$\lambda_c = \lambda + \lambda_N \cdot f,$$

где $f = \frac{N}{t} = -\frac{10000}{100} = 100$ цикл/ч.

В таком случае, получаем:

$$\lambda_c = 10 \cdot 10^{-5} + 1,05 \cdot 10^{-5} \cdot 100 = 115 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Пример 2. Система состоит из пяти последовательно соединенных элементов, надежность которых характеризуется следующими величинами вероятностей безотказной работы: $P_1 = 0,8$; $P_2 = 0,92$; $P_3 = 0,90$; $P_4 = 0,90$; $P_5 = 0,8$. Требуется определить вероятность безотказной работы системы и вероятность безотказной работы трех таких систем при их параллельном соединении.

Решение. Вероятность безотказной работы системы определим по формуле (1.60):

$$P_c = 0,8 \cdot 0,92 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,8 = 0,467.$$

Вероятность безотказной работы при параллельном соединении трех систем определим по формуле (1.66):

$$P_{zc} = 1 - (1 - 0,467)^3 = 1 - 0,151 = 0,849.$$

Пример 3. Система состоит из 215 включенных элементов шести разных типов. Наименование типов элементов, их количество и минимальное и максимальное значения интенсивности отказов для каждого типа элементов, приведены в таблице 3–1. Требуется определить величину интенсивности отказов (минимальную и максимальную) по типам элементов.

Решение. Предполагая, что надежность элементов одного и того же типа одинакова, величину интенсивности отказов группы данного типа определим по формуле (1.64). Результат расчета приведен в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Зависимость интенсивности отказов элементов от их типов

Типы элементов	Количество элементов	Интенсивность отказов, 10^{-3} , 1/ч		
		Элементов	По группам	Систем
Реле	20	0,08–0,2	1,1	4,0
Транзисторы	10	0,05–0,1	0,5	1,0
Сопротивления	100	0,003–0,015	0,3	1,3
Трансформаторы	15	0,001–0,02	0,015	0,022
Конденсаторы	60	0,0014–0,02	0,084	1,2
Штепсельный разъем	10	0,01–0,02	0,10	0,20
Всего	215	0,1454–0,375	2,6	7,72

При необходимости пользуясь уравнением (1.63) можно рассчитать вероятность безотказной работы для отдельных элементов и их группам и даже для всей системы в целом, пользуясь данными, приведенными в табл. 1.4 и формулой (1.63).

Пример 4. За весь период наблюдения было зарегистрировано 15 отказов системы. До начала наблюдения система проработала 300 ч, а к концу наблюдения наработка составила 1100 ч. Требуется определить среднюю наработку на отказ.

Решение. Интервал времени наблюдения составил:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 1100 - 300 = 800 \text{ ч.}$$

Средняя наработка на отказ, с учетом уравнения (1.45), будет:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\Delta t}{n} = \frac{800}{15} = 53,3 \text{ ч.}$$

Пример 5. Имеется система с основным соединением 5 элементов (отказ одного из элементов ведет к отказу всей системы). Наблюдения за системой показали, что за весь период работы первый элемент отказал 34 раза (за 952 часа работы), второй элемент отказал 24 раза (за 960 часов работы), а остальные элементы (за 210 часов работы) отказали соответственно 4,5 и 6 раз. Требуется определить интенсивность отказов для каждого элемента и всей системы, а также среднюю наработку системы на отказ.

Решение. Интенсивность отказов для каждого элемента определим по формуле:

$$\lambda_i = \frac{n_i}{\Delta t_i}.$$

Подставляя соответствующие данные получим:

$$\lambda_1 = \frac{34}{952} = 0,0357 \text{ 1/ч;}$$

$$\lambda_2 = \frac{24}{960} = 0,025 \text{ 1/ч;}$$

для остальных:

$$\lambda_{3,4,5} = \frac{4+5+6}{210} = 0,0714 \text{ 1/ч.}$$

Интенсивность отказов системы, в соответствии с уравнением (1.64) будет равна:

$$\lambda_c = 0,0357 + 0,025 + 0,0714 = 0,1321 \text{ 1/ч.}$$

Средняя наработка на отказ:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,1321} = 7,25 \text{ ч.}$$

Пример 6. При эксплуатации системы произошло 8 отказов отдельных элементов. Время восстановления элементов при каж-

дом отказе (мин.) соответственно было равным: $t_1=12$; $t_2=23$; $t_3=15$; $t_4=9$; $t_5=17$; $t_6=28$; $t_7=25$; $t_8=31$. Требуется определить среднее время восстановления.

Решение. Среднее время восстановления будет равно сумме времени восстановления при каждом отказе, разделенное на число отказов, т. е.

$$t_{\text{в}} = \sum \frac{t_i}{n} = \frac{12+23+15+9+17+28+25+31}{8} = 20 \text{ мин.}$$

Пример 7. Испытывалась система, в которой находилось $N = 1000$ элементов, отказы которых фиксировались через каждые 100 ч работы системы. Требуется найти зависимости $P(t)$, $a(t)$ и $\lambda(t)$ в интервале времени $\Delta t = 3000$ ч, если число отказов n_i ; за каждые 100 ч распределялись так, как указано в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Распределение отказов в интервалах времени

0–100	50	0,950	0,50	0,514
100–200	40	0,910	0,40	0,430
200–300	32	8,878	0,32	0,358
300–400	25	0,853	0,25	0,289
400–500	20	0,833	0,20	0,238
500–600	18	0,821	0,17	0,233
600–700	16	0,800	0,16	0,198
700–800	15	0,772	0,16	0,195
800–1000	14	0,755	0,14	0,184
1000–1000	15	0,740	0,15	0,200
1100–1200	14	0,726	0,14	0,191
1200–1300	14	0,712	0,14	0,195
1300–1400	13	0,699	0,13	0,184
1400–1500	13	0,684	0,13	0,189
1500–1600	13	0,672	0,13	0,192
1600–1700	12	0,654	0,12	0,197
1700–1800	13	0,646	0,13	0,200
1800–1900	12	0,634	0,12	0,212
1900–2000	12	0,620	0,12	0,195
2000–2100	12	0,608	0,12	0,195
2100–2200	13	0,515	0,13	0,217
2200–2300	12	0,583	0,12	0,204

Окончание табл. 1.5

2300–2400	13	0,583	0,13	0,225
2400–2500	13	0,560	0,13	0,248
2500–2600	14	0,556	0,14	0,232
2600–2700	20	0,520	0,20	0,376
2700–2800	25	0,495	0,25	0,490
2800–2900	30	0,465	0,30	0,624
2900–3000	40	0,425	0,40	0,900

Решение. Вероятность безотказной работы системы можно определить по уравнению (1.32) или по несколько видоизмененному уравнению:

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (1.69)$$

где $n(t)$ — число элементов отказавших за время T . Подставляя в это уравнение соответствующие данные из табл. 1.5 получаем:

$$P(100) = \frac{1000 - 50}{1000} = 0,95;$$

$$P(200) = \frac{1000 - 90}{1000} = 0,91;$$

$$P(300) = \frac{1000 - 122}{1000} = 0,878;$$

$$\dots$$

$$P(3000) = \frac{1000 - 575}{1000} = 0,425.$$

Результат расчета заносим в табл. 1.5.

Для нахождения величины интенсивности отказов $\lambda(t)$ воспользуемся уравнением (8).

Подставив соответствующие данные из табл. 1.5, получаем:

$$\lambda(50) = \frac{50 \cdot 50}{1000 + 95} =$$

$$\lambda(50) = \frac{50 \cdot 50}{1000 + 950} = 0,514 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч;}$$

$$\lambda(150) = \frac{40 \cdot 50}{950 + 910} = 0,430 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч;}$$

$$\dots$$

$$\lambda(2950) = \frac{40 \cdot 50}{465 + 425} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч.}$$

Для нахождения величины частоты отказов $a(t)$ можно применить уравнение (1.36). Подставив соответствующие данные из табл. 1.5, получим:

$$a(50) = \frac{50}{1000 \cdot 100} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч;}$$

$$a(150) = \frac{40}{1000 \cdot 100} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч;}$$

$$\dots$$

$$a(2950) = \frac{40}{1000 \cdot 100} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч.}$$

Рассчитанные таким образом данные сведены в табл. 1.5. Следует отметить, что полученные величины распределяются во времени по трем периодам. В первом периоде в начале испытания имеет место приработка элементов, чему соответствует снижение их надежности. Во втором периоде на отрезке времени от 1100–1200 часов до 2300–2500 ч. Снижение надежности прекращается и наблюдается некоторая устойчивость величин критериев надежности. В третьем периоде опять наблюдается снижение надежности элементов из-за их естественного износа и старения: возрастает количество отказавших элементов, снижается $P(t)$ и увеличиваются $a(t)$ и $\lambda(t)$. Такое изменение надежности характерно для всех вновь устанавливаемых элементов.

Пример 8. Пользуясь данными примера 7, следует рассчитать среднее время безотказной работы системы, полагая, что испытания проводились до момента выхода из строя ее последнего элемента, т. е. принимая, что в испытании участвовали только вышедшие из строя элементы (их количество N_a равно 575 шт.), расчет среднего времени безотказной работы можно произвести по уравнению (1.45).

Решение. Чтобы воспользоваться уравнением (14) определим величину $m = t_N / \Delta t$. Время отказа всех элементов $t_N = 3000$ ч, а интервал времени $\Delta t = 100$ ч. В таком случае:

$$m = \frac{3000}{100} = 30.$$

Тогда:

$$T_{\text{ср}} = \frac{50 \cdot 50 + 40 \cdot 150 + 32 \cdot 250 \dots + 30 \cdot 2850 + 40 \cdot 2950}{575} = 1400 \text{ ч.}$$

Пример 9. Система состоит из трех блоков. Первый блок имеет 15 элементов (усилительные каскады), второй — 20 и третий — 5.

Требуемая вероятность безотказной работы за срок работы $t = 100$ ч, должна быть не менее $P = 0,96$. Определить вероятность безотказной работы каждого блока.

Решение. Общее число расчетных элементов надежности системы:

$$N = 15 + 20 + 5 = 40 \text{ шт.}$$

Принимая экспоненциальную зависимость между P и λ (1.41) интенсивность отказов всей системы:

$$\lambda = \frac{\ln 0,96}{100} = 40 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Допустимое для элементов среднее значение интенсивности отказа λ_i :

$$\lambda_i = \frac{\lambda}{N} = \frac{40 \cdot 10^{-5}}{40} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Вероятность безотказной работы отдельных блоков определится по формуле:

$$P_i = e^{-\lambda_i n_i t}.$$

Подставив в нее соответствующие значения величин для каждого блока, получим:

$$P_1 = e^{-0,15} = 0,85;$$

$$P_2 = e^{-0,02} = 0,96;$$

$$P_3 = e^{-0,005} = 0,995.$$

Таким образом, требуемая вероятность безотказной работы блоков обеспечивается.

Пример 10. Элемент характеризуется интенсивностью отказов $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-5}$ 1/ч. Требуется определить среднее время безотказной работы T_{cp} , вероятность безотказной работы $P(t)$ и частоту отказов $a(t)$ при заданном времени работы ($t = 500; 1000; 2000$ ч).

Решение. Для определения T_{cp} воспользуемся уравнением:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 40000 \text{ ч.}$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$ определим по уравнению (1.41). Для заданной продолжительности работы:

$$P(500) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 500} = e^{-0,0125} = 0,9875;$$

$$P(1000) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000} = e^{-0,025} = 0,9753;$$

$$P(2000) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2000} = e^{-0,05} = 0,9512.$$

Частоту отказов $a(t)$ для заданной продолжительности работы определим по уравнению (1.48):

$$a(500) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 500} = 2,469 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч;}$$

$$a(1000) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000} = 2,439 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч;}$$

$$a(2000) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2000} = 2,378 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Пример 11. Система, состоящая из $N = 120$ равнонадежных элементов, имеет вероятность безотказной работы $P_c(t) = 0,95$. Требуется найти вероятность безотказной работы отдельного элемента $P_i(t)$.

Решение. Вероятность безотказной работы элемента $P_i(t)$ можно определить из уравнения (1.61). Однако, поскольку величина $P_c(t)$ близка к единице, то ее удобнее вычислять через вероятность отказа $Q(t)$, пользуясь уравнением (1.33):

$$Q(t) = 1 - P_c(t) = 1 - 0,95 = 0,05.$$

Тогда вероятность безотказной работы элемента:

$$P_i(t) = 1 - \frac{Q(t)}{N} = 1 - \frac{0,05}{120} = 0,9996.$$

Пример 12. Система состоит из трех блоков, средняя наработка на отказ которых соответственно равна: $T_{cp1} = 160$ ч, $T_{cp2} = 320$ ч, $T_{cp3} = 600$ ч. Определить среднюю наработку на отказ всей системы, если справедлив экспоненциальный закон надежности.

Решение. Согласно уравнению (1.47) средняя наработка на отказ обратно пропорциональна интенсивности отказов той же системы. Поэтому, вначале определим суммарную интенсивность отказов системы:

$$\lambda_c = \frac{1}{T_{cp1}} + \frac{1}{T_{cp2}} + \frac{1}{T_{cp3}} = \frac{1}{160} + \frac{1}{320} + \frac{1}{600} = 0,011 \text{ 1/ч.}$$

С учетом этого средняя наработка на отказ всей системы:

$$T_{cp.c} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,011} = 91 \text{ 1/ч.}$$

Пример 13. В системе могут быть использованы только элементы, интенсивность отказов которых составляет $\lambda_c = 10^{-5}$ 1/ч. Система состоит из двух частей с числом элементов $N_1 = 500$ и $N_2 = 2500$

шт. Требуется определить вероятность безотказной работы в конце первого часа и среднюю наработку на отказ.

Решение. Требуемая интенсивность отказов элементов в каждой части будет соответственно:

$$\lambda_{c1} = N_1 \lambda_r = 500 \cdot 10^{-5} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}$$

$$\lambda_{c2} = N_2 \lambda_r = 2500 \cdot 10^{-5} = 0,025 \text{ 1/ч}$$

Величину вероятности безотказной работы для каждой части системы определим по уравнению (1.41):

$$P_{c1} = e^{-5 \cdot 10^{-3}} = 0,995$$

$$P_{c2} = e^{-0,025} = 0,975$$

Согласно уравнения (1.47) средняя наработка до первого отказа будет:

$$T_{cp.c1} = \frac{1}{\lambda_{c1}} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ ч.}$$

$$T_{cp.c2} = \frac{1}{\lambda_{c2}} = \frac{1}{0,025} = 40 \text{ ч.}$$

Пример 14. Система состоит из блоков А и Б, в которых применяются разные элементы. Блок А состоит из 60 элементов, интенсивность отказа которых $\lambda_r = 1 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, и 100 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_r = 0,4 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Блок Б укомплектован другими элементами с интенсивностью отказа $\lambda_r = 0,5 \cdot 10^{-6}$ 1/ч, которых в блоке имеется в количестве 200 единиц и элементами в количестве 500 единиц, с интенсивностью отказа $\lambda_r = 0,1 \cdot 10^{-6}$ 1/час. Норма надежности всей системы принята по величине вероятности безотказной работы равной $P = 0,95$. Требуется определить вероятность безотказной работы блоков А и Б.

Решение. Величина вероятности безотказной работы является функцией времени, т. е. $P(t)$. Поэтому вначале надо определить то, для какой продолжительности работы установлена норма надежности системы. Для этого, пользуясь (1.64) определим интенсивность отказов обоих блоков по данным значениям интенсивностей отказов и количества элементов.

Для блока А:

$$\lambda_A = 60 \cdot 10^{-6} + 100 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6} = 100 \cdot 10^{-6}.$$

Для блока Б:

$$\lambda_B = 200 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} + 500 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} = 150 \cdot 10^{-6}.$$

Пользуясь (1.41), составим равенство:

$$P = e^{-\lambda t} = e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t} = 0,95.$$

Подставив соответствующие величины, найдем искомое значение продолжительности работы:

$$T = \frac{\ln 0,95}{(100 + 150) \cdot 10^{-6}} = \frac{0,05}{250 \cdot 10^{-6}} = 0,2 \cdot 10^3 \text{ ч.}$$

Чтобы найти вероятность безотказной работы блоков, найдем предварительно значения показателей степени уравнения (1.41) для обоих блоков:

$$\lambda_A t = 100 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \cdot 10^3 = 0,02;$$

$$\lambda_B t = 150 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \cdot 10^3 = 0,03.$$

Тогда:

$$P_A = e^{-0,02} = 0,98;$$

$$P_B = e^{-0,03} = 0,97.$$

Пример 15. Среднее время наработки на отказ элементов системы $T_{cp} = 65$ ч, а среднее время простоя (время восстановления) $t_n = 1,25$ ч. Определить коэффициенты простоя и готовности системы K_n и K_r .

Решение. Для определения этих коэффициентов воспользуемся уравнениями (1.60) и (1.58).

$$K_n = \frac{1,25}{65 + 1,25} = 0,02;$$

$$K_r = \frac{65}{65 + 1,25} = 0,98$$

или $K_r = 1 - K_n = 1 - 0,02 = 0,98$.

Содержание отчета

Цель и план работы. Результаты расчета надежности системы автоматического управления.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие факторы определяют надежность?
2. Какие причины влияют на отказ систем?
3. Дайте определение термину «надежность».

Примеры разноуровневых заданий для контроля знаний

Задания 1-го уровня

1. Подробно расскажите об интенсивности отказов.
2. Как можно повысить надежность системы?

Задания 2-го уровня

1. Дайте определение термину «долговечность». От чего зависит долговечность системы?
2. Каким бывает резервирование? Расскажите подробнее о каждом его виде.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Надежность различных элементов

Надежность элементов характеризуется различными критериями надежности, из которых чаще всего применяется критерий λ — интенсивность отказов, а также среднее время безотказной работы — критерий $T_{ср}$. Зная эти критерии, можно рассчитать и другие критерии, пользуясь приведенными ранее соотношениями. В литературе имеются соответствующие таблицы величин подобных критериев надежности (3, 4, 5). Следует отметить, что числовые значения критериев приведены для периода нормальной работы, т. е. периоды приработки и интенсивного износа не рассматриваются. Кроме того, эти значения приведены для данного типа, конструкции, исполнения элемента и для нормальных условий его работы. Приводимые величины для одинаковых элементов, как правило, колеблются в довольно широких пределах, что зависит от качества элемента.

В табл. 1.6 приведены средние значения интенсивности отказов для некоторых наиболее часто встречающихся элементов.

Таблица 1.6

Средние интенсивности отказов λ

Оборудование	Интенсивность отказов, 10^{-6} 1/ч
Аккумуляторы	7,2
Амперметры	0,29
Арматура осветительная	0,1

Продолжение табл. 1.6

Оборудование	Интенсивность отказов, 10^{-6} 1/ч
Батареи:	
– сухие	30
– заряжаемые	1,4
– кислотнo-свинцовые	1,1
Вентиляторы вытяжные	0,3
Вибраторы разные	0,9
Выводы:	
– высокочастотные	2,63
– электрические	0,14
Выпрямители разные	0,6
Генераторы:	
– постоянного тока	0,9
– переменного тока	0,7
Гнезда (на 1 контакт)	0,10
Датчики	15
Двигатели:	
– асинхронные	8,6
– вентиляторов	0,2
– синхронные	0,36
– шаговые	0,37
Держатели плавких предохранит	0,02
Диоды:	
– кремниевые, селеновые	0,20
– мощные	1,42
Дроссели:	
– низкой частоты	0,175
– высокой частоты	2,10
Зажимы	0,0005
Изоляция	0,50
Изоляторы	0,05
Инвертор	40
Кабели	0,475
Катушки:	
– дроссельные	0,02
– обмоток эл. двигателей	0,03
– высокой частоты	0,01
– индуктивности	0,02

Продолжение табл. 1.6

Оборудование	Интенсивность отказов, 10^{-6} 1/ч
Конденсаторы:	
– бумажные	0,05
– воздушные	0,034
– керамические	0,10
– масляные	0,30
– слюдяные	0,075
– танталовые	0,6
– электролитические	0,035
Контакты прерывающиеся	0,05
Контакты (на контактную группу)	0,25
Коробки соединительные	0,4
Крепежные, монтажные детали	0,012
Кристаллы разные	0,30
Лампы:	
– накаливания	8,0
– неоновые	10,25
Магниты	5,65
Магнитные усилители	0,152
Муфты:	
– управления, переключающие	1,69
– фрикционные предохранители	0,3
– электромагнитные	0,6
Переключатели блокировочные (на I кнопку):	0,5
– кнопочные	0,7
– кулачковые	0,075
– быстродействующие	4,0
– микроминиатюрные	0,25
Потенциометры:	
– проволочные	1,2
– угольные	0,25
Предохранители плавкие	0,5
Преобразователи	15,0
Прерыватели (зуммеры)	0,6
Приводы общего назначения:	
– крупногабаритные	6,9
– малогабаритные	3,6
Провода соединительные	0,15
Прокладки (шайбы)	0,4

Продолжение табл. 1.6

Оборудование	Интенсивность отказов, 10^{-6} 1/ч
Пускатели, стартеры	10,0
Разъемы штепсельные	0,003
Регуляторы напряжения, угольные	9,65
Резисторы:	
– угольные	0,05
– титриты	0,10
– пленочные, постоянные	0,03
– проволочные	0,09
Реле (на I контактную группу):	
– электромагнитное	0,3
– с соленоидными катушками	0,5
– малогабаритные	0,25
– миниатюрные	0,06
– мощные	0,30
– задержки времени	0,39
– термические	0,40
Реле времени:	
– электронные	1,20
– электромеханические	1,50
– пневматические	3,50
Реостата	0,13
Сельсины	0,35
Соединения:	
– гибкие	0,03
– паяные	0,004
– шарнирные	2,4
– жесткие	0,025
Стабилизаторы:	
– напряжения угольные	9,65
– магнитных усилителей	0,50
Транзисторы кремниевые, германиевые	0,5
Трансформаторы:	
– анодные, входные	0,050
– высокочастотные	0,045
– магнитных усилителей	0,162
– силовые	1,04
Щетки электрические, вращающиеся	0,1
Щеткодержатели	1,3

Окончание табл. 1.6

Оборудование	Интенсивность отказов, 10^{-6} 1/ч
Электродвигатели: – переменного тока – постоянного тока – вентиляторов	5,24 9,36 0,20
Электронные лампы: – приемно-усилительные – мощные – передающие	1,7 7,05 58,0
Электронные лампы принимающие: – диодные – триодные – тетрод – пентод – газонаполненные	1,0 1,3 1,8 2,5 3,9

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2

Планирование ремонтных работ и составление годового графика технического обслуживания и диагностирования электрооборудования

Цель работы: научиться составлять годовой график ТО и Д электрооборудования, изучить периодичность диагностирования электродвигателей, находящихся в различных условиях окружающей среды.

План работы:

1. Методы планирования ремонтных работ.
2. Составление годового графика ТО и Д электрооборудования.

Рекомендации по выполнению практической работы

Теоретическая часть (общая)

При планировании работ по техническому обслуживанию, диагностированию, текущему и капитальному ремонту электро-

оборудования колхозов, совхозов 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, согласно которому организуется эксплуатация электротехнического оборудования, является годовой план технического обслуживания, диагностирование и ремонт электрооборудования. Он составляется в соответствии с действующей системой планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования, используемого в сельском хозяйстве.

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

Для составления годового графика технического обслуживания и диагностирования электрооборудования по форме 1 (приложение 1) все электрическое оборудование сельскохозяйственного предприятия, колхоза, совхоза делится на 3 группы:

1) электродвигатели, магнитные пускатели, автоматы, установленные в животноводческих помещениях, ремонтных мастерских, кузницах, помещениях пилорам и др.;

2) 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) электрооборудование, которого нет в рекомендациях по организации ремонта и технического обслуживания на основе диагностирования.

Периодичности диагностирования всех типов электродвигателей **1-й группы электрооборудования** находятся в зависимости от количества отказов, приходящихся на один двигатель, % (под электродвигателем в данном случае следует понимать электропривод с электродвигателем) и числа рабочих, которые работают в данном производственном помещении, а также содержащихся в нем животных или птиц в расчете на один установленный электродвигатель.

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

$$n_{\text{отк}\%} = \frac{n_0}{n_{\text{э.д.}}} \cdot 100, \quad (1.69)$$

где n_0 — число отказов электродвигателей, установленных в данном производственном помещении (в мастерской и пр.);

$n_{\text{э.д.}}$ — общее количество установленных электродвигателей, шт.

Число рабочих, а также содержащихся животных (птиц) n в расчете на один установленный электродвигатель определяется по формуле:

$$n = \frac{n'}{n_{\text{э.д.}}} \quad (1.70)$$

где n' — число рабочих, а также содержащихся животных (птиц) в данном производственном помещении, шт.

Периодичности диагностирования электродвигателей работающих в помещениях для содержания КРС, телят, телок, нетелей, свиней, птицы, в мастерских, кузницах, в помещениях пилорам и другие приведены в Приложении 4 (табл. П.4.1–П.4.5).

Практическая часть (примеры)

ПРИМЕР 1. В свиарнике для поросят — отъемышей на 1400 мест установлено 40 электродвигателей. По данным энергетической службы хозяйства в предыдущем году вышли из строя 5. Определить периодичность диагностирования электродвигателей и их количество.

Решение. Количество отказов на один электродвигатель:

$$n_{\text{отк}\%} = \frac{n_0}{n_{\text{э.д.}}} \cdot 100\% = \frac{5}{40} \cdot 100 = 12,5 \%$$

Число животных, приходящихся на электродвигатель:

$$n = \frac{n'}{n_{\text{э.д.}}} = \frac{1400}{40} = 35.$$

Согласно данных табл. П. 4.4. (приложение 4), периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в данном помещении, будет равна двум месяцам.

Количество диагностирований в свиарнике в год на один электродвигатель:

$$K_{\text{д}} = \frac{12}{\text{П}_{\text{д}}} = \frac{12}{2} = 6,$$

123

на 40 электродвигателей:

$$K'_{\text{д}} = K_{\text{д}} \cdot n_{\text{э.д.}} = 6 \cdot 40 = 240.$$

Периодичности технического обслуживания электродвигателей 1-й группы электрооборудования приняты равными половине периодов между их диагностированиями для электрооборудования, эксплуатируемого постоянно. Следует отметить, что при диагностировании выполняются также операции ТО. Число чистых ТО ($K_{\text{то}}$):

$$K_{\text{то}} = \frac{12}{\text{П}_{\text{то}}} - \frac{12}{\text{П}_{\text{д}}} = 12 \cdot \frac{\text{П}_{\text{д}} - \text{П}_{\text{то}}}{\text{П}_{\text{д}} \text{П}_{\text{то}}},$$

где $\text{П}_{\text{то}}$ — периодичность ТО (в периоды между диагностированиями), мес;

$\text{П}_{\text{д}}$ — периодичность Д, мес;

12 — число месяцев в году (календарное).

Для сезонных видов электрооборудования формула определения $K_{\text{то}}$ та же, но число месяцев в году следует принимать фактическое.

3. Периодичности ТО и Д магнитных пускателей и автоматических выключателей (автоматов для 1-й группы электрооборудования) принимаются равными периодичностям ТО и Д электродвигателей, в цепи которых они установлены.

4. Периодичности текущих ремонтов электродвигателей 1-й группы электрооборудования отсутствуют. Проведение его текущих ремонтов зависит от данных Д.

5. Капитальный ремонт для 1-й и 2-й групп электрооборудования целесообразно планировать в стоимостном выражении с учетом данных предшествующего года и количества электрооборудования в последующем году.

Периодичности диагностирования и ТО 2-й группы электро-технического оборудования принимают по данным табл.1.7 и 1.8 в зависимости от:

- типа помещений, условий работы (сухие, пыльные и т. д.);
- места установки (гараж, мельница и пр.);
- используемого оборудования (насосы и пр.);
- серии электродвигателей;
- режимов работы.

Периодичности текущих ремонтов электрооборудования данной группы также отсутствуют. Проведение его текущих ремонтов зависит от данных диагностирования.

124

ПРИМЕР 2. По данным примера 1 определить периодичность технических обслуживаний электродвигателей и их количество (без диагностирования).

Решение. Периодичность технического обслуживания электродвигателей равна половине периода между их диагностированиями. Следовательно, она равна одному месяцу. Отсюда число технических обслуживаний без диагностирования на один электродвигатель в год:

$$K_{\text{ТО}} = \frac{12}{\Pi_{\text{ТО}}} - \frac{12}{\Pi_{\text{д}}} = \frac{12}{1} - \frac{12}{2} = 6.$$

Количество технических обслуживаний 40 электродвигателей в свинарнике:

$$K'_{\text{ТО}} = K_{\text{ТО}} \cdot n_{\text{э.д.}} = 6 \cdot 40 = 240.$$

Число технических обслуживаний ($K_{\text{ТО}}$) в год на один электродвигатель 2-й группы электрооборудования подсчитывается по той же формуле, что и для первой группы.

Таблица 1.7

Периодичность и средние трудоемкости
ТО, диагностирования и ТР электродвигателей (ЭД),
магнитных пускателей (МП) и автоматических выключателей (АВ)

Серия ЭД	Периодичность, мес.		Средняя трудоемкость (на год эксплуатации), чел.ч.								
	Техническое обслуживание (в период между диагностированием)	Диагностирование	Техническое обслуживание			Диагностирование			Текущий ремонт (плановая)		
			ЭД	МП	АВ	ЭД	МП	АВ	ЭД	МП	АВ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сухие и влажные (влажность до 75 %) помещения; место установки ЭД, МП и АВ — гаражи котельные; используемое оборудование — насосы, вентиляторы, заточные и сверлильные станки, теплогенераторы											
АО2	4	8	0,75	0,39	0,38	1,09	0,59	0,53	0,95	0,28	0,34
4АД	4	8	0,75	0,39	0,38	1,09	0,59	0,53	0,88	0,28	0,34

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сырые (влажность длительно превышает 75 %) помещения; место установки ЭД, МП и АВ — цехи по переработке плодов и овощей; используемое оборудование — агрегаты для сортировки плодов, транспортеры, насосы											
АО2	3	6	1,0	0,52	0,5	1,45	0,78	0,70	1,3	0,32	0,42
Место установки ЭД, МП и АВ — цехи по переработке продуктов животноводства, пункты послеуборочной обработки зерна; используемое оборудование — костедробильные машины, гомогенизаторы, маслоизготовители, сепараторы и др.											
4АД	3	6	1,0	0,52	0,5	1,45	0,78	0,70	1,15	0,32	0,42
Пыльные (влажность до 98%, температура от -40 до +45 °С запыленность до 240 г/м ³) помещения; место установки ЭД, МП и АВ — мельницы, элеваторы, комбикормовые заводы, зерносклады; используемое оборудование — транспортер, норрии, вентиляторы, зерноочистительные агрегаты, зерносушилки, смесители, зернодробилки, молотилки, прессы											
АО2	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,05	1,48	0,41	0,46
4АД		6	1,0	0,52	0,5	1,45	0,78	0,70	1,17	0,41	0,46
Особо сырые (влажность превышает 98%) помещения; место установки ЭД, МП и АВ — сараи, неотапливаемые склады, силосные и сенажные башни; используемое оборудование — транспортеры, загрузчики и разгрузчики башен, линии послеуборочной обработки овощей, воздухонагревателя, станки для изготовления торфоперегнойных горшков, оборудование электростригальных цехов, оборудование установок для профилактической обработки овец											
АО2	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,5	1,52	0,60	0,71
4А, Д	3	6	1,0	0,52	0,5	1,45	0,78	0,70	1,2	0,60	0,71
Место установки ЭД, МП и АВ — моечные отделения цехов по переработке плодов и овощей, парники теплицы; используемое оборудование — машины для мойки плодов, отмывки семян											
АО2	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,05	1,52	0,67	0,76
4А, Д	3	6	1,0	0,52	0,52	1,45	0,78	0,70	1,16	0,67	0,76
АО2 Сх.											
Особо сырые с химически активной средой (влажность 80–100%, наличие агрессивных газов) помещения; место установки ЭД, МП и АВ — склады минеральных удобрений. Помещения для протравливания семян; используемое оборудование — дозаторы, трансформаторы, насосы, вентиляторы											
АО2	2	4	1,5	0,78	0,75	2,18	1,17	1,05	1,52	0,67	0,76
4А, Д	3	6	1,0	0,52	0,5	1,45	0,78	0,70	1,16	0,67	0,76
АО2 Сх.											

Окончание табл. 1.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
На открытом воздухе тан пол навесом; используемое оборудование — протравители семян, транспортеры											
A02 4А, Д A02 Сх.	2 3	4 6	1,5 1,0	0,78 0,52	0,75 0,5	2,18 1,45	1,17 0,78	1,05 0,70	1,76 1,35	0,77 0,77	0,80 0,80

ПРИМЕР 3. В не отапливаемом складе хозяйства на транспорте-рах установлены 3 электродвигателя серии 4А и 2 электродвигателя серии А02.

Определить периодичность технических обслуживании, диагностирования и их количество в год.

Решение. По табл. 1.7 периодичность технических обслуживаний для электродвигателей, установленных в особо сырых помещениях серии 4А, составляет 3 месяца, серии А02 — 2 месяца.

Периодичность диагностирования электродвигателей серии 4А составляет 6 месяцев, серии А02 — 4 месяца.

Количество технических обслуживании на один электродвигатель серии 4А в год:

$$K_{\text{ТО}(4A)} = \frac{12}{\Pi_{\text{ТО}}} - \frac{12}{\Pi_{\text{д}}} = \frac{12}{3} - \frac{12}{6} = 2,$$

на 3 электродвигателя:

$$K'_{\text{ТО}(4A)} = K_{\text{ТО}(4A)} \cdot n_{\text{э.д.}(4A)} = 2 \cdot 3 = 6.$$

Количество технических обслуживании на один электродвигатель серии А02 в год:

$$K_{\text{ТО}(A02)} = \frac{12}{2} - \frac{12}{4} = 3,$$

на 2 электродвигателя:

$$K'_{\text{ТО}(A02)} = 3 \cdot 2 = 6.$$

Количество диагностирования на один электродвигатель серии 4А в год:

$$K_{\text{д}(4A)} = \frac{12}{\Pi_{\text{д}}} = \frac{12}{6} = 2,$$

на 3 электродвигателя:

$$K'_{\text{д}(4A)} = K_{\text{д}(4A)} \cdot n_{\text{э.д.}(4A)} = 2 \cdot 3 = 6,$$

Количество диагностирования на один электродвигатель серии А02 в год:

$$K_{\text{д}(A02)} = \frac{12}{4} = 3,$$

на 2 электродвигателя:

$$K'_{\text{д}(A02)} = 3 \cdot 2 = 6.$$

При разработке графика следует учесть сезонное электрооборудование, обслуживание которого должно производиться в соответствующее время.

Ремонтные воздействия следует распределять в течение года по возможности равномерно. Для этого целесообразно провести подсчет их трудоемкости по месяцам.

ПРИМЕР 4. В помещении установлены светильники типа НСПО — 21 шт., типа ПВЛМ — 48 шт. и один осветительный щиток типа ЩО на 12 групп. Внутренняя электропроводка выполнена на тросах кабелем марки АВРГ протяженностью 800 м и площадью сечения 4 мм².

Определить количество ТО и ТР в год.

Решение. По табл. 1.9 периодичности ТО светильников, установленных в помещениях с химически активной средой, составляет 3 мес., осветительных щитков — 1,5 мес., электропроводок — 4 мес. Периодичность ТР соответственно — 12 мес., 12 мес., 18 мес.

Количество технических обслуживаний в год:

а) одного светильника:

$$K_{\text{ТО}(св)} = \frac{12}{\Pi_{\text{ТО}(св)}} = \frac{12}{3} = 4;$$

б) всех светильников:

$$K'_{\text{ТО}(св)} = 4 \cdot (21 + 48) = 276;$$

в) одного осветительного щитка:

$$K_{\text{ТО}(що)} = \frac{12}{\Pi_{\text{ТО}(що)}} = \frac{12}{1,5} = 8;$$

г) внутренней электропроводки:

$$K_{\text{ТО}(пр)} = \frac{12}{\Pi_{\text{ТО}(пр)}} = \frac{12}{4} = 3;$$

Количество текущих ремонтов в год:

а) одного светильника:

$$K_{\text{ТР(св)}} = \frac{12}{P_{\text{ТР(св)}}} = \frac{12}{12} = 1;$$

б) всех светильников:

$$K'_{\text{ТР(св)}} = 1 \cdot (21 + 48) = 69;$$

в) одного осветительного щитка:

$$K_{\text{ТР(що)}} = \frac{12}{P_{\text{ТР(що)}}} = \frac{12}{12} = 1;$$

г) внутренней электропроводки:

$$K_{\text{ТР(пр)}} = \frac{12}{P_{\text{ТР(пр)}}} = \frac{12}{18} = 0,67.$$

Таблица 1.8

Периодичность и средние трудоемкости
ТО, диагностирования и ТР

Условия и режим работы	Периодичность, мес.		Средняя трудоемкость (на год эксплуатации), чел·ч		
	ТО	Диагностирование	ТО	Диагностирование	ТР
Погружной электродвигатель мощностью 12–32 кВт *					
Наработка в сутки, ч:					
до 5	1	6	4	1,4	1,9
8–10	1	4	3,6	2,1	2,4
более 16	1	3	3,2	2,8	5,3
Генератор передвижной электростанции мощностью 30–60 кВ·А **					
При работе в помещении с наработкой в сутки, ч:					
до 8	3	6	2,8	4,2	5,0
8–16	2	4	4,2	6,3	7,3
более 16	1,5	3	5,6	8,4	12,5

Окончание табл. 1.8

	1	2	3	4	5	6
При работе на открытом воздухе с наработкой в сутки, ч:						
до 8	2	4	4,2	6,3	15,0	
8–16	1,5	3	5,6	8,4	19,0	
более 16	1	2	8,4	12,6	24,6	
Генератор сварочный с номинальным сварочным током 300 А						
При работе:						
– в помещении	3	6	3,0	3,8	7,4	
– на открытом воздухе	2	4	4,5	5,7	10,2	
Преобразователь сварочный с номинальным сварочным током 300 А						
При работе:						
– в помещении	3	6	3,6	5,0	8,5	
– на открытом воздухе	2	4	5,4	7,5	12,1	
Трансформатор сварочный с номинальным сварочным током 300 А						
При работе:						
– в помещении	3	6	0,8	1,1	3,2	
– на открытом воздухе	2	4	1,2	1,65	4,3	
Электрокалорифер мощностью 40 кВт						
Наработка в сутки, ч:						
– до 12	2	6	3,04	3,1	5,5	
– более 12	2	4	2,28	4,65	5,5	
Электроводонагреватель:						
– элементарный, емкостный	2	6	1,6	1,4	7,9	
– элементарный, проточный	2	6	2,0	1,5	5,5	
– электродный	2	4	4,5	5,7	10,5	
Котел электродный паровой						
	2	4	9,0	10,5	7,5	

* Трудоемкость диагностирования погружного электродвигателя указана для переносных приборов.

** При работе генераторов в качестве резервных источников питания периодичность технического обслуживания составляет 4 мес., периодичность диагностирования — 12 мес.

Поскольку для **3-й группы электротехнического оборудования** в настоящее время диагностирование не планируется, то для нее планируется только ТО и текущие ремонты.

Периодичности ТО и ТР зависят от условий эксплуатации и принимаются в соответствии с утвержденными нормами, приведенными в табл. 1.9.

После определения периодичности видов ремонтных работ, определения их количества для соответствующего электротехнического оборудования заполняется годовой график по форме 1 (приложение 5).

Таблица 1.9

Периодичность технического обслуживания и текущего ремонта электрооборудования 3-й группы

Электрооборудование	Периодичность, мес.	
	Технического обслуживания	Текущего ремонта
Средства автоматизации при работе в помещениях:		
– сухих и влажных;	3	12
– сырых и пыльных;	2	9
– особо сырых с химически активной средой.	1	6
На открытом воздухе и под навесом	1	6
Силовые сборки и щитки освещения, установленные в помещениях:		
– сухих, влажных, пыльных и сырых	3	24
– особо сырых и с химически активной средой	1,5	12
Светильники установленные:		
– в сухих и влажных помещениях		
– в сырых и особо сырых помещениях	6	36
– в особо сырых помещениях с химически активной средой	4	24
	3	12
Трансформаторы сварочные:		
– работающие в помещениях	3	24
– работающие на открытом воздухе	2	18
Генераторы сварочные:		
– работающие в помещениях	2	18
– работающие на открытом воздухе	1	12
Преобразователи сварочные:		
– работающие в помещениях	2	18
– работающие на открытом воздухе	1	12

Примечание. Периодичности ТО и ТР сварочного электрооборудования приведены для продолжительности его работы до 8 ч в сутки. При использовании электрооборудования более 8 ч в сутки значение периодичность необходимо умножить на коэффициент 0,6.

Содержание отчета

Цель и задачи работы. Годовой график ТО и Д электрооборудования.

Примеры разноуровневых заданий для контроля знаний

Задания 1-го уровня

1. Как определить периодичность диагностирования электрооборудования первой группы.
2. Как определить периодичность диагностирования электрооборудования второй группы.

Задания 2-го уровня

1. Как определить периодичность ТО и ТР электрооборудования третьей группы?
2. Какое электрооборудование относится ко 2-й группе?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3

Расчет годовой трудоемкости

Цель работы: изучить методику расчета годовой трудоемкости.

План работы:

1. Методика расчета годовой трудоемкости.
2. Расчет годовой трудоемкости (по заданию преподавателя).

Рекомендации по выполнению лабораторной работы

Теоретическая часть (общая)

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

Для 1-й группы оборудования расчет выполняется, исходя из годовой программы работ ТО и диагностирования (конкретного хозяйства), в соответствии с нижеприведенными трудоемкостями одного технического обслуживания:

- для электродвигателя она равна 0,25 чел-ч;
- магнитного пускателя — 0,13 чел-ч;
- автомата — 0,125 чел-ч;

одного 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. Данные трудоемкости приведены в табл. 1.10.

Суммарная плановая годовая трудоемкость подсчитывается по формуле:

$$T_{\text{ТР}} = n_1(K_{\text{ТО1}} \cdot t_{\text{ТО}} + K_{\text{Д1}} \cdot t_{\text{Д}} + t_{\text{ТР1}}) + n_2(K_{\text{ТО2}} \cdot t_{\text{ТО}} + \dots + K_{\text{Д2}} \cdot t_{\text{Д}} + t_{\text{ТР2}}) + \dots + n_n(K_{\text{ТОn}} \cdot t_{\text{ТО}} + K_{\text{Дn}} \cdot t_{\text{Д}} + t_{\text{ТРn}}), \quad (1.72)$$

где n_1, n_2, \dots, n_n — количество единиц электрооборудования в подгруппе;

$K_{\text{ТО1}}, K_{\text{ТО2}}, \dots, K_{\text{ТОn}}$ — количество ТО единицы подгруппы электрооборудования за год (по графику);

$K_{\text{Д1}}, K_{\text{Д2}}, \dots, K_{\text{Дn}}$ — количество Д единицы подгруппы электрооборудования за год (по графику);

$t_{\text{ТО}}, t_{\text{ТО2}}, \dots, t_{\text{ТОn}}$ — трудоемкость одного ТО единицы подгруппы электрооборудования, чел-ч;

$t_{\text{Д}}, t_{\text{Д2}}, \dots, t_{\text{Дn}}$ — трудоемкость одного Д единицы подгруппы электрооборудования, чел-ч;

$t_{\text{ТР1}}, t_{\text{ТР2}}, \dots, t_{\text{ТРn}}$ — годовая трудоемкость ТР единиц подгруппы электрооборудования, чел-ч.

Таблица 1.10

Суммарная трудоемкость ТР

Назначение помещения	Суммарная трудоемкость текущего ремонта на год эксплуатации, чел-ч.		
	Электродвигатель	Магнитный пускатель	Автомат
Содержание крупного рогатого скота	1,6	0,77	0,80
Содержанке телят, телок, нетелей	1,3	0,60	0,71
Содержание свиней	1,5	0,67	0,76
Содержание птицы	1,7	0,77	0,80
Ремонтные мастерские, кузницы, пилорамы и др.	1,2	0,60	0,71

Практическая часть (примеры)

ПРИМЕР 1. По данным примеров 3 и 4 (практическая работа № 1) для первой группы оборудования подсчитать годовую трудоемкость технического обслуживания, диагностирования и текущего ремонта.

В свинарнике установлены 40 электродвигателей, 10 магнитных пускателей, 6 автоматических выключателей.

Решение. Суммарная плановая годовая трудоемкость:

$$T_{\text{ТР}} = n_1(K_{\text{ТО1}} \cdot t_{\text{ТО}} + K_{\text{Д1}} \cdot t_{\text{Д}} + t_{\text{ТР1}}) + n_2(K_{\text{ТО2}} \cdot t_{\text{ТО}} + K_{\text{Д2}} \cdot t_{\text{Д}} + t_{\text{ТР2}}) + n_3(K_{\text{ТО3}} \cdot t_{\text{ТО}} + K_{\text{Д3}} \cdot t_{\text{Д}} + t_{\text{ТР3}}) \quad (1.73)$$

где n_1, n_2, n_3 — количество соответственно электродвигателей, магнитных пускателей, автоматических выключателей;

$K_{\text{ТО1}}, K_{\text{ТО2}}, K_{\text{ТО3}}$ — количество технических обслуживаний на единицу оборудования соответственно электродвигателей, магнитных пускателей, автоматических выключателей. Принимается по данным расчетов (примеры 3, 4, практическая работа №1);

$K_{\text{Д1}}, K_{\text{Д2}}, K_{\text{Д3}}$ — количество диагностирований на единицу оборудования соответственно электродвигателей, магнитных пускателей, автоматических выключателей. Принимается по данным расчетов (примеры 3, 4, практическая работа №1);

$t_{\text{ТО}}, t_{\text{ТО2}}, t_{\text{ТО3}}$ — трудоемкости одного технического обслуживания единицы оборудования соответственно электродвигателей, магнитных пускателей, автоматических выключателей. Принимаются по данным, приведенным в табл. 1.10 и приложения 6;

$t_{\text{Д}}, t_{\text{Д2}}, t_{\text{Д3}}$ — трудоемкости одного диагностирования единицы оборудования соответственно электродвигателей, магнитных пускателей, автоматических выключателей. Принимаются по данным, приведенным в табл. 1.10 и приложения 6;

$t_{\text{ТР1}}, t_{\text{ТР2}}, t_{\text{ТР3}}$ — годовые трудоемкости текущего ремонта единицы оборудования соответственно электродвигателей, магнитных пускателей, автоматических выключателей. Принимаются по данным табл. 1.10.

Тогда:

$$T_{\text{ТР}} = 40 \cdot (6 \cdot 0,25 + 6 \cdot 0,725 + 1,5) + 10 \cdot (6 \cdot 0,13 + 6 \cdot 0,39 + 0,67) + 6 \cdot (6 \cdot 0,125 + 6 \cdot 0,35 + 0,75) = 353,5 \text{ чел-ч.}$$

Для второй группы электрооборудования расчет выполняется, исходя из средней трудоемкости ТО, Д, ТР на год эксплуатации одного электродвигателя, электронагревателя и др., которые приведены в табл. 1.7 и 1.8 (практическая работа №2).

Суммарная плановая трудоемкость определяется из выражения:

$$T_{2TP} = n_1(t_{TO1} + t_{Д1} + t_{TP1}) + n_2(t_{TO2} + t_{Д2} + t_{TP2}) + \dots + n_n(t_{TON} + t_{Дn} + t_{TPn}),$$

где $t_{TO1}, t_{TO2}, \dots, t_{TON}$ — годовая трудоемкость ТО единиц подгруппы электрооборудования, чел-ч;

$t_{Д1}, t_{Д2}, \dots, t_{Дn}$ — годовая трудоемкость Д единицы подгруппы электрооборудования, чел-ч.

ПРИМЕР 2. По данным примера 5 (практическая работа №2) для второй группы оборудования подсчитать годовую трудоемкость технического обслуживания, диагностирования и текущего ремонта.

В неотапливаемом складе хозяйства установлено на каждом из трех электродвигателей серии 4А по одному магнитному пускателю и два автоматических выключателя. На двух других электродвигателях серии АО2 установлены два магнитных пускателя и один автоматический выключатель.

Решение. Суммарная плановая годовая трудоемкость определяется по формуле:

$$T_{2TP} = n_1(t_{TO1} + t_{Д1} + t_{TP1}) + n_2(t_{TO2} + t_{Д2} + t_{TP2}) + \dots + n_6(t_{TO6} + t_{Д6} + t_{TP6})$$

где n_1, n_2 — количество электродвигателей соответственно серий 4А, АО2;

n_3, n_4 — количество магнитных пускателей, установленных соответственно на электродвигатели серий 4А и АО2;

n_5, n_6 — количество автоматических выключателей, установленных соответственно на электродвигатели серий 4А и АО2;

t_{TO1}, t_{TO2} — годовые трудоемкости технического обслуживания одного электродвигателя серий соответственно 4А и АО2;

t_{TO3}, t_{TO4} — годовые трудоемкости технического обслуживания одного магнитного пускателя, установленного на электродвигатели серий соответственно 4А и АО2;

t_{TO5}, t_{TO6} — годовые трудоемкости технического обслуживания одного автоматического выключателя, установленного на электродвигатели серий соответственно 4А и АО2;

$t_{Д1}, t_{Д2}$ — годовые трудоемкости диагностирования одного электродвигателя соответственно серий 4А и АО2;

$t_{Д3}, t_{Д4}$ — годовые трудоемкости диагностирования одного магнитного пускателя, установленного на электродвигатели серий соответственно 4А и АО2;

$t_{Д5}, t_{Д6}$ — годовые трудоемкости диагностирования одного автоматического выключателя, установленного на электродвигатели серий соответственно 4А и АО2;

t_{TP1}, t_{TP2} — годовые трудоемкости текущего ремонта одного электродвигателя соответственно серий 4А и АО2;

t_{TP3}, t_{TP4} — годовые трудоемкости текущего ремонта одного магнитного пускателя, установленного на электродвигатели серий соответственно 4А и АО2;

t_{TP5}, t_{TP6} — годовые трудоемкости текущего ремонта одного автоматического выключателя, установленного на электродвигатели серий соответственно 4А и АО2.

Годовые трудоемкости технического обслуживания, диагностирования и текущих ремонтов ($t_{ТО}, t_{Д}, t_{ТР}$) для второй группы электрооборудования принимаются по данным табл. 1.7 (практическая работа № 2).

Тогда:

$$T_{2TP} = 3 \cdot (1,0 + 1,45 + 1,2) + 2 \cdot (1,5 + 2,18 + 1,52) + 3 \cdot (0,52 + 0,78 + 0,6) + 2 \cdot (0,78 + 1,17 + 0,6) + 2 \cdot (0,5 + 0,7 + 0,71) + 1 \cdot (0,75 + 1,05 + 0,71) = 38,48 \text{ чел-ч.}$$

Для третьей группы электрооборудования трудоемкости работ приведены в табл. приложения 6 и 1.11.

Суммарная плановая, годовая трудоемкость третьей группы электрооборудования рассчитывается по формуле:

$$T_{3TP} = n_1(K_{TO1} \cdot t_{TO1} + K_{TP1} \cdot t_{TP1}) + n_2 \cdot (K_{TO2} \cdot t_{TO2} + K_{TP2} \cdot t_{TP2}) + \dots + n_n(K_{TON} \cdot t_{TON} + K_{TPn} \cdot t_{TPn}),$$

где $K_{TP1}, K_{TP2}, \dots, K_{TPn}$ — количество ТР единицы подгруппы электрооборудования за год;

$t_{TP1}, t_{TP2}, t_{TPn}$ — годовая трудоемкость одного ТР единиц подгруппы электрооборудования, чел-ч.

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

$$T = T_{1TP} + T_{2TP} + T_{3TP}.$$

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. При этом учитывается увеличение или уменьшение количества обслуживаемого электрооборудования в планируемом году.

Затраты труда на оперативные работы ($T_{ОП}$) определяются по средней удаленности производственных объектов электрообо-

рудования от пункта технического обслуживания (L); количеству электродвигателей в хозяйстве (s).

ПРИМЕР 3. По данным примера 6 (практическая работа № 2) подсчитать годовую трудоемкость технического обслуживания и текущего ремонта электрической осветительной сети, относящейся к третьей группе электрооборудования в коровнике на 200 голов крупного рогатого скота (КРС).

Решение. Суммарная плановая годовая трудоемкость определяется по формуле:

$$T_{ЗГР} = n_1(K_{ТО1} \cdot t_{ТО1} + K_{ТР1} \cdot t_{ТР1}) + n_2 \cdot (K_{ТО2} \cdot t_{ТО2} + K_{ТР2} \cdot t_{ТР2}) + n_3(K_{ТО3} \cdot t_{ТО3} + K_{ТР3} \cdot t_{ТР3}) + n_4 \cdot (K_{ТО4} \cdot t_{ТО4} + K_{ТР4} \cdot t_{ТР4}),$$

где n_1, n_2, n_3, n_4 — количество соответственно светильников с лампами накаливания, светильников с люминесцентными лампами, осветительных щитков, километров внутренней электропроводки (пример 6, практическая работа № 2);

$K_{ТО1}, K_{ТО2}, K_{ТО3}, K_{ТО4}$ — количество технических обслуживаний на единицу соответственно светильника с лампами накаливания, светильника с люминесцентными лампами, осветительного щитка, внутренней электропроводки (пример 6, практическая работа № 2);

$t_{ТО1}, t_{ТО2}, t_{ТО3}, t_{ТО4}$ — трудоемкости одного технического обслуживания соответственно светильника с лампами накаливания, светильника с люминесцентными лампами, осветительного щитка, 1000 м. внутренней электропроводки. Принимаются по данным табл. П. 6.1, П. 6.3, П. 6.5 (приложение 6).

$K_{ТР1}, K_{ТР2}, K_{ТР3}, K_{ТР4}$ — количество текущих ремонтов на единицу соответственно светильника с лампами накаливания, светильника с люминесцентными лампами, осветительного щитка, внутренней электропроводки (пример 6, практическая работа № 1);

$t_{ТР1}, t_{ТР2}, t_{ТР3}, t_{ТР4}$ — трудоемкости одного текущего ремонта соответственно светильника с лампами накаливания, светильника с люминесцентными лампами, осветительного щитка, 1000 м. внутренней электропроводки. Принимаются по данным табл. П. 6.1, П. 6.3, П. 6.5 (приложение 6).

Тогда:

$$T_{ЗГР} = 21 \cdot (4 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,4) + 48 \cdot (4 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,5) + 1 \cdot (8 \cdot 0,6 + 1 \cdot 9) + 0,8 \cdot (3 \cdot 4,6 + 0,67 \cdot 69) = 145,22 \text{ чел-ч.}$$

Средняя удаленность электрооборудования определяется из выражения, км:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i \cdot S_i}{S},$$

где L_i — расстояние от пункта ТО до i -го производственного объекта (фермы, зернотока, парника, мастерской и др.), км;

S_i — количество электродвигателей на i -м производственном объекте, шт.;

n — число производственных объектов в хозяйстве, шт.;

S — количество электродвигателей в хозяйстве, шт.

Годовые трудозатраты на оперативное обслуживание при специализации персонала находятся по табл. 1.11.

Таблица 1.11

Годовые трудозатраты на оперативное обслуживание при специализации персонала

l = 5 км					
S	До 590	591–1250	1251–2000		
T _{опр}	2086	4172	6258		

l = 10 км					
S	До 390	391–870	871–1350	1351–1880	1881–2000
T _{опр}	2086	4172	6258	8344	10430

l = 15 км						
S	До 300	301–630	631–1000	1001–1400	1401–1800	1801–2000
T _{опр}	2086	4172	6258	8344	10430	12516

Таблица 1.12

Данные производственных объектов

Объект	Количество электродвигателей на объекте, шт.	Удаленность объекта от пункта тех. обслуживания, км
1	127	8
2	166	0,4
3	141	2
4	56	7
5	107	3
6	20	6

Таблица 1.13

Годовые трудозатраты на один электродвигатель при совмещенном выполнении плановых и оперативных работ

L , км	5	10	15
$T'_{\text{опр}}$, чел-ч	3,09	4,38	5,67

ПРИМЕР 4. Определить годовые трудозатраты на оперативное обслуживание электрооборудования хозяйства, на балансе которого находятся 6 производственных объектов. Данные по ним приведены в табл. 1.12.

Средняя удаленность электрооборудования от пункта технического обслуживания:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i \cdot S_i}{S} = \frac{127 \cdot 8 + 266 \cdot 0,4 + 142 \cdot 2 + 56 \cdot 7 + 107 \cdot 3 + 20 \cdot 6}{717} = \frac{2243,4}{717} = 3,13 \text{ км.}$$

По табл. 1.11 при средней удаленности $L = 5$ км и количестве двигателей $s = 717$ трудозатраты на оперативное обслуживание $T_{\text{опр}} = 4172$ чел-ч.

Если оперативное обслуживание электрооборудования хозяйства производится монтерами, выполняющими плановые работы, то расчет трудозатрат на оперативное обслуживание осуществляется по формуле:

$$T_{\text{опр}} = T'_{\text{опр}} \cdot S,$$

где $T'_{\text{опр}}$ — годовые трудозатраты на оперативное обслуживание, приходящиеся на один электродвигатель, чел-ч.

Трудозатраты $T'_{\text{опр}}$ при различных расстояниях L от пункта технического обслуживания до электрооборудования определяются по табл. 1.13.

Согласно варианту задания выполнить расчет годовой трудоемкости, результаты представить в отчете.

Содержание отчета

Цель и задачи работы. Результаты вычислений.

Примеры разноуровневых заданий контроля знаний

Задания 1-го уровня

1. Назовите методы расчета годовой трудоемкости.
2. Как рассчитать годовую трудоемкость электрооборудования 1-й группы?

Задания 2-го уровня

1. Как рассчитать годовую трудоемкость электрооборудования 2-й группы?
2. Как рассчитать годовую трудоемкость электрооборудования 3-й группы?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4

Определение численности обслуживающего электротехнического персонала

Цель работы: изучить методику определения численности обслуживающего электротехнического персонала.

План работы:

1. Методика определения численности обслуживающего электротехнического персонала.
2. Определение численности обслуживающего электротехнического персонала хозяйства АПК по заданию преподавателя.

Рекомендации по выполнению практической работы

Теоретическая часть (общая)

Для выполнения годового планируемого объема работ по техническому обслуживанию, диагностированию и текущему ремонту число электромонтеров может определяться исходя из суммарного числа условных единиц электрооборудования хозяйства (\sum у. е.), а также планируемого годового объема трудоемкости ТО, Д и ТР электрооборудования хозяйства (T , чел-ч) и осуществляется двумя методами.

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 у. е. электрооборудования.

Тогда:

$$N = \frac{\sum \text{у.е.}}{100}. \quad (1.74)$$

По второму методу численность электромонтеров определяется по формуле:

$$N = \frac{1,1 \cdot T}{\Phi - \Phi_{\text{пер}}} \cdot K_{\text{вн}} \quad (1.75)$$

где 1,1 — коэффициент неучтенных работ;

Φ — действительный годовой фонд рабочего времени, ч;

$\Phi_{\text{пер}}$ — время, затрачиваемое электромонтером на переезды, ч;

$K_{\text{вн}}$ — коэффициент выполнения нормы, $K_{\text{вн}} = 1,1-1,15$.

Действительный годовой фонд рабочего времени электромонтера подсчитывается по формуле:

$$\Phi = (d_k - d_b - d_n - d_o) \cdot z \cdot \eta \quad (1.76)$$

где d_k , d_b , d_n , d_o — количество календарных, выходных, праздничных и отпускных дней в году соответственно;

z — продолжительность рабочей смены, ч (при одном выходном дне в неделе — 6,834, при двух — 8,24);

η — коэффициент выхода электромонтера на работу, 0,95–0,96.

Решение. Численность электромонтеров оперативной службы:

$$N_{\text{опр}} = \frac{T_{\text{опр}}}{\Phi K_{\text{вн}}}$$

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.

Практическая часть (примеры)

ПРИМЕР 1. Суммарная годовая плановая трудоемкость работ по эксплуатации электрооборудования хозяйства составляет $T = 20460$ чел-ч.

Определить количество электромонтеров для выполнения указанного объема плановых работ при наличии специализированной оперативной службы.

Численность электромонтеров определяется по формуле:

$$N = \frac{1,1 \cdot T}{\Phi - \Phi_{\text{пер}}} \cdot K_{\text{вн}}$$

Действительный годовой фонд рабочего времени электромонтера при шестидневной рабочей неделе:

$$\Phi = (d_k - d_b - d_n - d_o) \cdot z \cdot \eta = (364 - 52 - 7 - 24) \cdot 6,834 \cdot 0,95 = 1824,34 \text{ ч.}$$

Время, затрачиваемое электромонтером на переезды, принимается среднее фактическое за прошедший год. При средней удаленности объектов от центрального пункта технического обслуживания около 5 км $\Phi_{\text{пер}}$ можно принять равным 286 ч.

Тогда

$$N = 1,1 \cdot 20460 / (1824,34 - 286) \cdot 1,1 = 13,3.$$

Таким образом, хозяйству для выполнения плановых работ по эксплуатации электрооборудования требуется 13 электромонтеров.

Пример 2. Используя данные примеров, подсчитать число электромонтеров оперативной службы.

Число электромонтеров

$$N_{\text{опр}} = \frac{T_{\text{опр}}}{\Phi \cdot K_{\text{вн}}} = \frac{4172}{1824,34 \cdot 0,95} = 2,4.$$

Таким образом, для оперативной службы хозяйства требуется 2 электромонтера.

2. Согласно варианту задания выполнить расчет численности обслуживающего электротехнического персонала по указанным методикам. Результаты представить в отчете.

Содержание отчета

Цель и план работы. Результаты определения численности обслуживающего электротехнического персонала в хозяйстве.

Примеры разноуровневых заданий для контроля знаний

Задания 1-го уровня

1. Назовите методы определения численности обслуживающего электротехнического персонала.

2. Как определяется годовой фонд рабочего времени электромонтера?

Задания 2-го уровня

1. Как определяется численность электромонтеров оперативной службы?

Примеры разноуровневых вопросов для проверки результатов изучения модуля 1

1 уровень

1. Особенности эксплуатации электрооборудования в АПК.
2. Задачи технической диагностики электрооборудования.
3. Термины и определения технического диагностирования.
4. Системы технического диагностирования и их назначение.
5. Основы теории надежности и общие вопросы надежности электрооборудования.

2 уровень

1. Условия эксплуатации электрооборудования в сельском хозяйстве.
2. Закономерности старения и износа основных элементов электрооборудования.
3. Влияние качества электроэнергии на работу электрооборудования.
4. Показатели надежности электрооборудования.
5. Особенности диагностирования электрооборудования при капитальном ремонте.

3 уровень

1. Влияние эксплуатационных воздействий на электрооборудование в сельском хозяйстве.
2. Эксплуатационные свойства электрооборудования.
3. Формы организации работ при диагностировании электрооборудования.
4. Профилактические испытания электрооборудования.
5. Организация и планирование диагностирования электрооборудования в условиях эксплуатации.

Модуль 2.

СПОСОБЫ И СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ И УЗЛОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Цель модуля: сформировать у студентов систему знаний и навыков в области способов и системы диагностирования отдельных видов и узлов электрооборудования.

В результате изучения модуля студент должен:

- **знать** особенности диагностирования отдельных видов электрооборудования; методы определения состояния изоляции, электрических контактов, опор и заземляющих устройств; особенности диагностирования электрооборудования при различных видах работ; диагностирование электрооборудования по нескольким параметрам;
- **уметь** осуществлять измерения диагностических параметров электрооборудования; проводить обработку результатов измерений современными методами, выбирать необходимые диагностические приборы и оборудование; устанавливать причины отказов электрооборудования; использовать современную научно-техническую документацию и читать электрические схемы электроустановок; прогнозировать техническое состояние электрооборудования.

Теоретические вопросы

Методы определения состояния изоляции по тепловым процессам. Диагностические параметры электрических контактов. Основные принципы вибродиагностики электрооборудования. Методы диагностирования устройств, обеспечивающих электробезопасность; принципы автоматизированного диагностирования электрооборудования; методы прогнозирования технического состояния электрооборудования.

УСРС. Самостоятельно изучить и подготовить рефераты по следующим вопросам. Диагностирование асинхронных электродвигателей единых серий. Диагностирование опор ВЛ. Диагностирование осветительного и облучательного оборудования. Диагностирование качества электрической энергии.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ 2

2.1. Особенности диагностирования отдельных видов электрооборудования

Содержание

Диагностирование электродвигателей и генераторов, ПЗА. Диагностирование электроводонагревателей. 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 (приложение 7).

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.

Если доступ к электрооборудованию затруднен, то диагностирование производится, как правило, с помощью переносных приборов и приспособлений или автоматических диагностирующих устройств (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 инструменты, применяемые 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.

Мегаомметры 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.

Следует отметить, что технические характеристики оборудования приборов и приспособлений приводятся в паспортах изделий.

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 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. Задачи и цели диагностирования.
2. Какие приборы и приспособления используются при диагностировании электрооборудования?
3. Диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании.
4. Плановое диагностирование электрооборудования.
5. Диагностирование осветительного оборудования и оборудования для облучения.
6. Особенности диагностирования погружных электродвигателей.

2.2. Диагностирование изоляции

Содержание

Классификация изоляции. Методы определения состояния изоляции обмотки. Методы определения состояния витковой изоляции. Непрерывный контроль состояния изоляции при тепловых процессах.

Изоляционными материалами (диэлектриками) называются материалы, у которых электронная электропроводность в обычных условиях не наблюдается. Эти материалы используются для изоляции частей электрооборудования, которые находятся под влиянием разных электрических потенциалов.

Эти материалы обладают сравнительно высоким удельным электрическим сопротивлением (10^8 – 10^{18} Ом·м) и электрической прочностью. Электроизоляционные материалы по нагревостойкости, т. е. в зависимости от допускаемой температуры подразделяются на классы (°С) (У-90, А-105, Е-120, В-130, F-155, Н-180, С >180).

По своему составу и свойствам электроизоляционные материалы бывают разными. Так, имеются газообразные, полужидкие и жидкие материалы, 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 порядка 10^{10} – 10^{12} Ом·м, электрическую прочность 30–40 кВ/мм при нагревостойкости 105–180 °С, что указывается при обозначении ткани. Применяются изоляционные пленки, ленты и ленты для подмотки при монтаже электрооборудования, а также слоистые пластмассы, бумага и картон, компаунды, изоляционные полимеры, слюдиниты. Пользуются также намотанными изделиями, керамическими материалами и трубами из разного материала и др.

При эксплуатации электроустановок диэлектрики оцениваются по следующим основным характеристикам:

1) электрическая прочность (пробивная напряженность), под которой принимается отношение пробивного напряжения к толщине диэлектрика, т. е.

$$E_{\text{пр}} = \frac{U_{\text{пр}}}{h}, \quad (2.1.)$$

где h — толщина диэлектрика, мм;

$U_{пр}$ — напряжение, при котором диэлектрик теряет свои изоляционные свойства (разрушается);

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

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

Следует отметить, что понятие «пробой изоляции» отличается от понятия «перекрытие изоляции», под которым понимается пробой изоляции с меньшей $E_{пр}$ по поверхности изоляции с большей $E_{пр}$. При снятии напряжения «пробой изоляции» способен 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, в изоляции происходит замедленная поляризация, т. е. смещение и поворот связанных дипольных молекул, создающих ток абсорбции i_a . В-третьих, в изоляции происходит мгновенная поляризация, представляющая собой упругое смещение и деформацию электронных оболочек атомов и ионов, и создающая ток смещения i_c .

Для изучения этих процессов используют схему замещения изоляции, показанную на рис. 2.1.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.

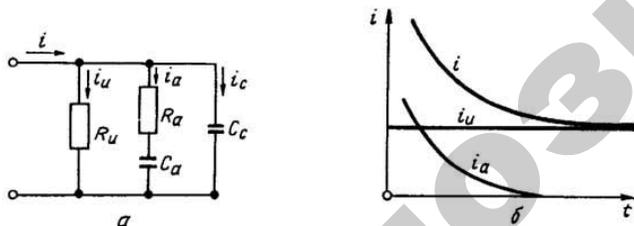


Рис. 2.1. Схема замещения изоляции (а) и диаграмма токов, протекающих в изоляции (б)

На рис. 2.1.б показана зависимость токов, проходящих через изоляцию, от времени прохождения токов под постоянным напря-

жением. При этом ток абсорбции затухает по мере завершения процессов замедленной поляризации, а ток сквозной проводимости сохраняется неизменным. Токи смещения столь кратковременны, что их не учитывают. Таким образом, суммарный ток i имеет затухающий характер.

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

$$R_u = \frac{U}{i_u} = \frac{U}{i - i_a}, \quad (2.2)$$

где U — приложенное напряжение, В.

Поскольку измерение i_a связано с определенными трудностями, то 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 влияет на результаты вычисления. Если же измерение проводить при небольшой выдержке времени, то можно получить неправильное значение о сопротивлении изоляции.

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

$$R_u \geq \frac{U_n}{1000 + P_n}, \quad (2.3)$$

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 другим неблагоприятным воздействиям. В результате этого свойства изоляции непрерывно ухудшаются.

Из схемы замещения видно, что от качества изоляции зависят значения токов утечки, абсорбции, смещения и потерь мощности в цепи $R_a C_a$. Поэтому эти значения 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 следующие:

- 1) измерение сопротивления изоляции;
- 2) измерение емкости изоляции; измерение диэлектрических потерь;
- 3) испытание повышенным напряжением переменного или постоянного тока.

Полное заключение о состоянии изоляции делают на основании совокупности результатов измерений. При этом 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.).

Определение увлажненности изоляции по коэффициенту абсорбции

Пусть изоляция некоторого электрооборудования, например, электродвигателя, моделируется схемой замещения (рис. 2.1а). Из рассмотрения процессов электропроводности и поляризации следует, что для заведомо сухой изоляции в процессе измерения суммарный ток $i_{свх}$ будет резко затухать (рис. 2.2). У влажной изоляции такого же двигателя суммарный ток $i_{вл}$ 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 $R_{свх}$ при измерении будет резко увеличиваться, а сопротивление влажной изоляции $R_{вл}$ — незначительно. Следовательно, в зависимости от продолжительности измерения по состоянию сопротивления изоляции, можно определить наличие ее увлажнения (т. е. увлажнена изоляция или нет).

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 $(R_{60}/R_{15}) \leq 1,3$ — влажной.

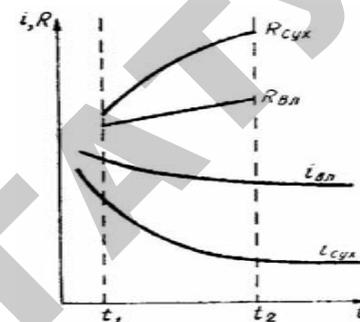


Рис. 2.2. Графики изменения полного тока и сопротивления изоляции (сухой и влажной)

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 (рис. 2.3).

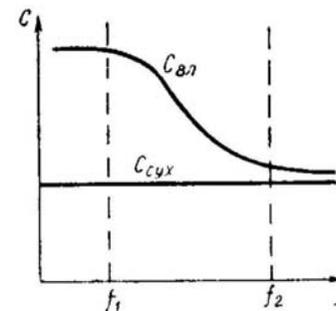


Рис. 2.3. Графики изменения емкости изоляции (сухой и влажной)

Емкость сухой $C_{сух}$ изоляции практически не зависит от частоты, так как поляризация в ней происходит почти мгновенно. Емкость же влажной изоляции $C_{вл}$ с ростом частоты убывает. Это объясняется тем, что при малой частоте тока дипольные молекулы

воды успевают следовать (поворачиваться) за полем, и $C_{вл}$ имеет наибольшее значение. Если же частота тока становится большой, молекулы из-за своей инертности не успевают следовать за полем. Абсорбционная емкость уменьшается и ее значение приближается к емкости, обусловленной лишь электронной поляризацией. Поэтому по степени изменения емкости изоляции от частоты тока можно определить увлажненность изоляции.

Диагностирование увлажнения изоляции состоит в измерении ее емкости при частотах тока f_1 , и f_2 ($f_2 > f_1$) и определении отношения $\frac{C_{f1}}{C_{f2}}$. Обычно принимают $f_1 = 2$ Гц, $f_2 = 50$ Гц и измеряют соответ-

венно C_2 и C_{50} .

Если $\frac{C_2}{C_{50}} < 1,2$, то изоляцию считают сухой, если $\frac{C_2}{C_{50}} \geq 1,2$, — увлажненной.

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 пустот, расслоений, трещин и других дефектов равномерность поля в изоляции нарушается, возникают частичные разряды, создающие высокочастотные колебания. Обнаружение этих колебаний при помощи специального прибора (индикатор частичных разрядов — ИЧР) позволяет выявить наличие дефектов в изоляции, а в отдельных случаях — место расположения этих дефектов.

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.

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 изоляции. 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 ее сопротивления начинается при различных напряжениях. Таким образом, исправная изоляция имеет линейную вольт-амперную характеристику, а неисправная — нелинейную.

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

Для этого подключают через микроамперметр обмотку одной из фаз электродвигателя 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. Если нулевая точка обмотки электродвигателя или трансформатора недоступна, то кисточнику подключают один из выводов обмотки, т. е. испытывают сразу изоляцию трех фаз.

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

Определение износа изоляции по значению диэлектрических потерь. Из схемы замещения изоляции (рис. 2.1.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 является мощностью диэлектрических потерь, которая определяется по формуле:

$$P = U I_c \operatorname{tg} \delta, \quad (2.4)$$

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

Диэлектрические потери зависят от вида диэлектрика и от его состояния. Тепловой износ, посторонние включения и влага

ухудшают качество изоляции, по сравнению с новой изоляцией, что приводит к увеличению $\text{tg}\delta$. В этой связи по значению $\text{tg}\delta$ можно определить степень износа изоляции. Диагностирование изоляции по значению $\text{tg}\delta$ используют для определения состояния в основном высоковольтного электрооборудования. Для измерения угла диэлектрических потерь применяют схему высоковольтного моста или схему с ваттметром, которая — проста и удобна. Однако недостаток этой схемы состоит в том, что с ее помощью получают меньшую точность измерений, чем при помощи схемы моста.

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 фактором в общем износе изоляции является тепловой износ. При анализе эксплуатационных режимов особое значение приобретают методы определения скорости теплового старения электрической изоляции и 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 применяют расчетные формулы, моделирующие внешние воздействия на нее 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 проведения экспериментальных исследований.

Процессы теплового износа изоляции электрооборудования зависят от различных факторов его эксплуатации. Основными факторами, учитываемыми в расчетах, являются условия окружающей среды: температура и относительная влажность воздуха, а также содержание в воздухе агрессивных соединений. Эти факторы учи-

тываются 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 ее эксплуатации может испытывать сжатие под действием электродинамических сил. В большинстве случаев эти 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 (из-за увеличения токов в обмотках и квадратичной зависимости электродинамических сил от свертков).

Если допустить, что статические нагрузки не приводят к очевидным изменениям структуры изоляции (хотя на самом деле это 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 того, циклические знакопеременные электродинамические силы приводят к вибрации обмоток, что также способствует механическому разрушению изоляции.

Следует отметить, что на процесс теплового износа оказывают влияние и отклонения 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:

$$R_{и} = R_0 \cdot e^{B \cdot \left(\frac{1-x}{\theta_n} - \frac{1-x \cdot k^2}{\theta} \right) \cdot m^c \cdot n^{\eta} \cdot t}, \quad (2.5)$$

где $R_{и}$ — 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 нагревостойкости 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 уравнения (2.5) и коэффициентов, характерных 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 (2.5) принимаются в соответствии с заданием на курсовую работу. Для принятых исходных данных определяется сопротивление изоляции и процент его снижения по следующей формуле:

$$\Delta R = \frac{R_0 - R_{и}}{R_0} \cdot 100. \quad (2.6)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Классификация электроизоляционных материалов по нагревостойкости.
2. Основные методы диагностирования электрической изоляции.
3. Определение увлажненности изоляции.
4. Методы определения состояния изоляции обмотки.
5. Определение теплового износа изоляции.

2.3. Диагностирование электрических контактов

Содержание

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 приходится около 60 электрических контактов в среднем. От состояния любого из них зависит работоспособность всей электроустановки. Поэтому регулярный контроль электрических контактов является важной частью работ по обеспечению надежности электрооборудования.

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

Следует отметить, что существует большое число конструктивных исполнений контактов. Так, 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 другим признакам.

Разрывные контакты обеспечивают периодическое замыкание и размыкание электрической цепи. К ним предъявляют следующие требования: устойчивость против коррозии, стойкость к свариванию, действию электрической коррозии и сжимающих ударных нагрузок; хорошие проводимость и теплофизические свойства, технологичность и способность прирабатываться друг к другу.

В качестве контактных материалов для слаботочных разрывных контактов используются 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 хорошую электро- и теплопроводность контактов, а включение тугоплавкой фазы придает им 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 графитсодержащего материалов.

Графит и материалы на его основе помимо низкого коэффициента трения отличаются большим напряжением дугообразования, и поэтому износ таких контактов от искрения незначителен. Кроме того, на поверхности графита не образуются оксидные пленки, и контакт имеет линейную вольтамперную характеристику. При этом широкое применение для изготовления скользящих контактов нашли проводниковые бронзы, латуни, твердая медь и т. д. Следует отметить, что бронзами называются сплавы меди с оловом, кремнием, хромом. Они (бронзы) имеют более высокие механические свойства, чем чистая медь.

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

Кадмиевую бронзу используют для изготовления контактных проводов, и 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 соответствующих заготовок штамповкой, глубокой вытяжкой и т. п.

Состояние контактов оценивают по определяющим или вспомогательным параметрам. К определяющим параметрам относят переходное сопротивление, падение напряжения и температуру нагрева контактов, а к вспомогательным — площадь соприкосновения, раствор, провал и усилие сжатия контактов.

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

Значение переходного сопротивления зависит от многих факторов, но главными из них являются микрорельеф, усилие сжатия и материал контактной поверхности.

Переходное сопротивление электрического контакта (Ом) определяется по формуле:

$$R_n = \frac{K_1}{(0,1 \cdot F_k)^m} K_T, \quad (2.7)$$

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 плоскостей $m = 1$, для линейного контакта $m = 0,75$, для контактов «сфера–плоскости» и «сфера–сфера» $m = 0,5$).

K_T — коэффициент, учитывающий температуру контакта.

В свою очередь, $K_T = 1 + 0,67 \alpha (t - 20)$; где 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, принимают $K_T = 1$.

Значения коэффициента K_1 для материалов контакта следующие:

0,006 (алюминий – алюминий);

0,002 (алюминий – латунь);

0,001 (алюминий – медь);

0,044 (алюминий – сталь);

0,00067 (латунь – латунь);

0,0004 (латунь – медь);

0,003 (латунь – сталь);

0,0004 (медь – медь);
 0,0005 (олово – олово);
 0,00006 (серебро – серебро);
 0,0076 (сталь – сталь) соответственно.

На рис. 2.4 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. Поскольку интенсивность деформации неровностей материала уменьшается. Затем, начиная с некоторого критического усилия нажатия, переходное сопротивление остается практически неизменным. При снятии контактного давления сопротивление R_2 контакта возрастает по кривой 2, которая идет несколько ниже кривой 1.

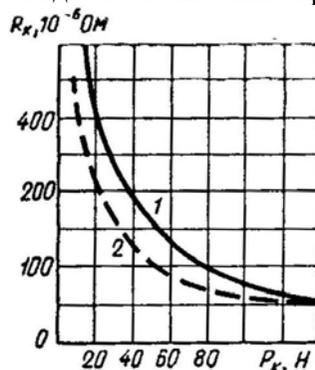


Рис. 2.4. Кривые переходного сопротивления контакта при увеличении (1) и уменьшении (2) усилия нажатия

Указанные явления используют при эксплуатации электрооборудования, когда, во-первых, 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 и его выбирают из условия отсутствия размягчения металла контактов, работающих в номинальном режиме. Для низковольтной аппаратуры установлены следующие допустимые падения напряжения на контакте: 0,01–0,02 В серебро, 0,01–0,03 В медь, 0,01–0,04 В алюминий, 0,02–0,05 В железо соответственно.

Сопротивление контактов не остается постоянным в процессе эксплуатации. Оно представляет собой источник дополнительных джоулевых потерь и поэтому температура контактной поверхности всегда выше температуры прилегающих к ней проводников. Это приводит к тому, что под действием кислорода на поверхности металла образовывается пленка, толщина которой с течением времени увеличивается. Это ведет к росту переходного сопротивления и ее дополнительному нагреву. Через некоторый момент времени под действием температуры и электрического поля пленка разрушается и переходное сопротивление уменьшается до первоначального значения. Данный процесс постоянно повторяется, но в некоторых случаях такое самоочищение не происходит, и контакт может разогреться до критической температуры и выйти из строя.

Для надежной работы контактов необходимо строго соблюдать установленные нормы для температуры нагрева. Так, коммутирующие контакты из меди без покрытия не должны нагреваться до температуры свыше — 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 контактов, фактическая площадь соприкосновения составляет не менее 70 % от их номинальной площади.

Раствором контактов называют наибольшее расстояние l_p (рис. 2.5.а) между поверхностями соприкосновения при разомкнутом состоянии контактов. В зависимости от типа аппарата, эта величина может составлять от 3 до 50 мм.

Провалом контактов называют расстояние, l_n (рис. 2.5.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.

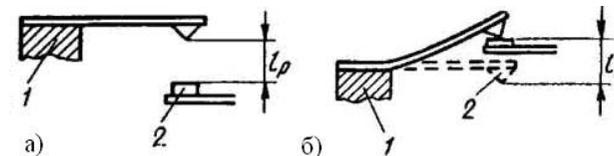


Рис. 2.5. Определение раствора (а) и провала (б) неподвижных и подвижных контактов:

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

Переходное сопротивление контактов измеряют при постоянном или переменном токе. Для этого используют микрометры М-246, Ф-415, двойные мосты Р-3, Ф3-39 или применяют схемы с милливольтметром. У нового контакта переходное сопротивление не должно превышать сопротивления целого эквивалентного участка проводника более чем в 1,2 раза. В процессе эксплуатации допускается увеличение сопротивления, но не более чем до величины в 1,8 раза, превышающее его начальное значение.

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

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

Диагностирование контактных систем низковольтных аппаратов

В контактных системах происходит до 60 % всех отказов низковольтных аппаратов. В основном, отказы возникают из-за механического и электрического износов рабочих поверхностей контактов, возникновения на них пленок, загрязнения, а также из-за потери упругости контактных пружин, повреждения или старения изоляционных материалов между контактами.

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

$$R_k = \frac{\varepsilon}{P_k^m}, \quad (2.8)$$

а в соответствии с теорией Чельчина:

$$R_k = \frac{\varepsilon}{P_k^m} + k_0, \quad (2.9)$$

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 дополнительное сопротивление, создаваемое пленками на поверхности контактов.

Рабочая температура контактов зависит от вида и силы тока и величины сопротивления. 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 следующих значений: 70 мВ (магнитных пускателей и автоматических выключателей при номинальном токе выше 50 А), 110 мВ (автоматических выключателей с номинальным током менее 50 А), 10–20 мВ (аппаратов со скользящими контактами: рубильники, пакетные выключатели). 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, значение которого составляет не менее 20 % от номинального.

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

$$\Delta U_H = \frac{\Delta U_{И} I_H}{I_{И}}, \quad (2.10)$$

где ΔU_H — потери напряжения, приведенные к номинальному току аппарата, мВ;

$\Delta U_{И}$ — измеренные потери напряжения, мВ;

I_H — номинальный ток аппарата, А;

$I_{И}$ — ток, при котором измерялись потери напряжения, А.

Результаты наблюдений за состоянием низковольтных аппаратов показывают, что одной из основных причин отказов является износ контактов этих аппаратов. Он приводит к уменьшению толщины контакта или контактной напайки и к изменению формы поверхности контактирования. Уменьшение толщины контактов вызывает ослабление силы сжатия контак-

тов, из-за него 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. При этом 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 определить по формуле:

$$P_k = P_0 - v t, \quad (2.11)$$

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 табл. П.8.1 (приложение 8) 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 табл. П.8.2 (приложение 8).

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.

Следует отметить, что уменьшению провала контактов, характеризующего величину их износа, обязательно сопутствует уменьшение площади конечного нажатия, что также способствует

увеличению скорости износа контактов. Уменьшение провала контактов на небольшую величину при значительном уменьшении площади 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 лампочка, указывающая на размыкание контактов, погаснет. В момент размыкания по шкале динамометра определяют усилие нажатия, которое должно отвечать данным табл. П. 8.1 (приложение 8).

При измерении усилия нажатия контактов линия приложения усилия должна быть перпендикулярной к их плоскостям. Начальное усилие нажатия регулируют шайбами, которые подкладывают под контактную пружину. Если таким образом усилие нажатия пружины отрегулировать нельзя, то ее заменяют новой. При определении усилия конечного нажатия контактов номинальное напряжение подают на катушку магнитного пускателя 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 табл. П.8.1 (приложение 8).

Усилие конечного нажатия регулируется так же, как и начального.

У автоматических выключателей усилие конечного нажатия контактов измеряют во включенном положении выключателей аналогично измерению этого усилия в магнитных пускателях. Усилие нажатия контактов автоматических выключателей должно соответствовать данным, приведенным в табл. П.8.2 (приложение 8).

При необходимости усилие нажатия контактов регулируют.

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

Контроль напряжения втягивания и отпускания якорей магнитных пускателей

Перед контролем напряжения втягивания и отпускания якоря работу подвижной части пускателя проверяют включением ее 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 — включаться немедленно, 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 % номинального 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 его плавно 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 напряжении и меньше его.

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. Виды и материалы контактных соединений.
2. Определяющие параметры контактов.
3. Вспомогательные диагностические параметры контактов.
4. Приборы и методы измерения параметров контактов.
5. Диагностирование контактных систем низковольтных аппаратов.

2.4. Диагностирование опор ВЛ и заземляющих устройств

Содержание

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

Воздушные линии

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

Опоры поддерживают провода на необходимом расстоянии от поверхности земли, проводов других линий, крыш зданий и т. п. Опоры делятся на 2 основных вида: *анкерные*, полностью воспринимающие тяжение проводов в смежных с опорой пролетах, и *промежуточные*, невоспринимающие или частично воспринимающие тяжение проводов. На базе анкерных опор могут выполняться угловые и концевые опоры.

Типы опор для различных условий прокладки ВЛ приведены в табл. 2.1.

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. При этом более предпочтительными являются опоры с железобетонными приставками. Металлические опоры применяют редко.

Древесина для опор должна быть пропитана антисептическим составом в заводских условиях. Допускается изготовление опор 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 для 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 составлять 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 и неоцинкованной проволоки диаметром 5–6 мм, покрытой асфальтовым лаком. Число витков бандажа равняется 12 (при диаметре 4 мм); 10 (при диаметре 5 мм); 8 (при диаметре 6 мм).

Таблица 2.1

Типы опор, применяемых для прокладки ВЛ

Наименование	Условия установки
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 ВЛ
Ответвительные	При ответвлении ВЛ от основной магистрали без изменения количества проводов
Ответвительные анкерные	При ответвлении ВЛ 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

На ВЛ 0,38 кВ применяют промежуточные (ПН), перекрестные (ПКН), промежуточные повышенные (ППН), анкерные концевые (АКН), 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-ЗДД — 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 цельностоечных 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 (опоры для 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 проводников, соединенных между собой (электродов) и 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 с целью 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 трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной средней точкой источника тока в сетях постоянного тока.

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

Техническое обслуживание ВЛ осуществляется с помощью осмотров, которые представляют собой визуальную диагностику. При эксплуатации ВЛ проводятся их периодические и внеочередные осмотры. Графики периодических осмотров осуществляет лицо, ответственное за электрохозяйство. Периодичность осмотров составляет не реже 1 раза в 6 месяцев (по ППРЭсх — 1 раз в месяц). Верховые осмотры ВЛ проводят 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 разливе 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:

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

При осмотрах ВЛ 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.

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

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 с целью определения неисправных осветительных приборов, возможных пробоев и утечек тока, локальных перегревов.

Проверка состояния деревянных опор. Один из основных недостатков деревянных опор — возможность их загнивания. Загни-

вание древесины 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, а также на уровне земли, уровнях верхних бандажей и в местах закрепления раскосов.

По глубине и характеру распространения загнивания древесины определяют эквивалентный диаметр оставшейся здоровой ее части 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 с помощью прибора замеряют усилие прокалывания. Границу между здоровой древесиной и загнившей ее частью фиксируют по резкому изменению усилия прокалывания. Загнивающие участки измеряют в трех точках по окружности. Среднюю глубину поверхностного загнивания опоры в каждом ее сечении находят как среднее арифметическое результатов измерения, после чего определяют диаметр здоровой части древесины (эквивалентный диаметр). Опору бракуют, если диаметр здоровой части древесины меньше ее допустимого предела на механическую прочность, найденного расчетом. При эквивалентном диаметре больше расчетного на 2–4 см участок опоры, находящейся в эксплуатации, проверяют ежегодно, а при большем диаметре — каждые 3 года.

Если древесина опоры имеет крупные сучки и сквозные трещины, ослабляющие древесину, при определении эквивалентного диаметра вносят поправку, уменьшающую этот 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 растениях и вызывающими распад и разрушение клеток древесины. Наиболее интенсивно загнивание распространяется при температуре 20–35 °С, 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]. Оно заключается в установлении места и загнивания древесины и сравнении эквивалентного диаметра ее здоровой части с допустимым d_d (12 см — для стоек и 10 см — для траверс линий напряжением до 35 кВ). Величина d_d при наличии загнивания находится умножением наружного диаметра опоры на коэффициент износа c , который имеет следующее значение: 0,75 (для траверс опор всех типов, стоек и приставок одностоечных опор); 0,7 (для стоек и приставок П- и А-образных опор) и 0,65 (для прочих деталей опор). Если опоры установлены в населенной местности или на пересечениях с инженерными сооружениями, то коэффициент увеличивается в 1,2 раза. Таким образом, допустимый износ деревянной детали опоры (при наличии загнивания) определяется по формуле:

$$d_d = c \cdot d. \quad (2.12)$$

Наличие загнивания опоры устанавливают в сухую 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 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 применяется прибор, называемый *определятелем загнивания древесины*. Этот прибор работает на основе фиксации измерения прохождения через древесину ультразвуковых колебаний. В здоровой древесине ультразвуковые колебания распространяются практически без затухания, а в загнившей древесине происходит частичное поглощение колебаний.

Глубину наружного загнивания пасынков и стоек измеряют с трех сторон (под углом около 120°), а траверс — с двух сторон (сверху и снизу). Среднее значение глубины загнивания для пасынков и стоек определяется по формуле:

$$b_{cp} = \frac{1}{3}(b_1 + b_2 + b_3), \quad (2.13)$$

где b_1, b_2, b_3 — глубина загнивания по результатам трех измерений, мм.

Среднее значение глубины загнивания для траверс определяется по формуле:

$$b_{cp} = \frac{1}{2}(b_1 + b_2). \quad (2.14)$$

Отбраковка загнивших деталей опор заключается в определении эквивалентного диаметра равнопрочного сечения здоровой части $d_{зд}$ и сравнении его с допустимым диаметром d_d , т. е.:

$$d_{зд} = d - 2b_{cp} \geq d_d, \quad (2.15)$$

где d — наружный диаметр детали опоры в месте загнивания (измерения).

При внутреннем загнивании необходимо определить диаметр внутренней загнившей части, который вычисляется по формуле:

$$D_{вн} = d - 2\delta_{cp}, \quad (2.16)$$

где δ_{cp} — средняя глубина незагнившей части древесины, получаемая по результатам трех измерений ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$).

В свою очередь,

$$\Delta_{cp} = \frac{1}{3}(\delta_1 + \delta_2 + \delta_3). \quad (2.17)$$

Тогда

$$d_{зд} = \sqrt[3]{\frac{d^4 - d_{cp}^4}{d}} \geq d_d. \quad (2.18)$$

Если эквивалентный диаметр больше минимального диаметра на 2–4 см, то детали опоры проверяют более часто. В этом случае считается, что процесс загнивания начался и его скорость составляет около 1 см в год.

Для упрощения пользования формулой (2.17) 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] Это измерение осуществляется на всех опорах с разрядниками и защитными промежутками, а также на опорах с электрооборудованием. На остальных опорах измерение производится выборочно (у 2 % от общего числа опор с заземлителями в населенной местности и на участках 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 составлять не более 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) напряжения с линии с предварительным отсоединением подвешенного без изоляторов грозозащитного троса от опоры.

Для измерения сопротивления заземляющих устройств на линиях напряжением 110 кВ и выше без снятия напряжения и без отсоединения грозозащитного троса от 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 не представляют опасности, а в большие трещины может проникнуть влага, что приведет к коррозии арматуры и резкому снижению механической прочности опоры.

Проверку состояния железобетонных опор и приставок осуществляют с помощью внешнего осмотра, 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. Наличие трещин в опорах с ненапряженной арматурой допускается, если трещина имеет глубину до 0,2 мм, а количество трещин не превышает 6 на 1 м длины опоры. Для опор, изготовленных с применением предварительно напряженной арматуры, раскрытие трещин не допускается.

Толщина защитного слоя бетона должна составлять не менее 10 мм. Для определения толщины защитного слоя и смещения каркаса арматуры пользуются прибором контроля арматуры ПКА-1М или АИ-15. При этом 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 стоек опор от вертикали вдоль и поперек оси ВЛ сверх нормируемых значений 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, исследования внутренней структуры вышеперечисленных материалов и оценки их прочности сквозным прозвучиванием (табл. 2.2).

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. сухим точечным контактом. Элементы АУ подпружинены и позволяют проводить измерения на криволинейных и шероховатых поверхностях. Для сквозного прозвучивания используются дополнительные ультразвуковые преобразователи продольных и поперечных ультразвуковых волн.

Таблица 2.2

Технические характеристики А1220

Наименование, характеристики	Значения
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
Габариты электронного блока, мм	234×98×33
Габариты антенного устройства, мм	145×90×75
Вес электронного блока, г	800
Вес антенного устройства, г	760
Рабочая температура, °С	-20—+45

Измеритель прочности бетона/стройматериалов ИПС—МГ4

Микропроцессорный прибор ИПС—МГ4 предназначен для оперативного и лабораторного контроля прочности и однородности бетона, раствора и кирпича методом ударного импульса.

В приборе предусмотрена возможность установки 16 индивидуальных градуировочных зависимостей, имеющих кубиковую прочность от 3 до 100 МПа, с погрешностью не более 10 % обеспечивающих определение прочности легких и тяжелых бетонов, а также раствора.

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 и преобразует параметр импульса в значение прочности, индицируя его на дисплее прибора в МПа.

Алгоритм обработки результатов измерений включает следующее:

- 1) усреднение единичных значений;
- 2) сравнение каждого единичного значения со средним, с последующей отбраковкой единичных значений, имеющих отклонения от среднего, более допустимого;
- 3) усреднение оставшихся после отбраковки единичных значений;

4) индикация и запись в память конечного значения прочности. Прибор 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 контроля (оперативного и лабораторного) прочности и однородности бетона, раствора и кирпича методом ударного импульса (табл. 2.3).

Обладая всеми достоинствами прибора ИПС—МГ4, прибор ИПС—МГ4+ может работать в расширенном режиме. При работе в этом режиме оператор может установить более 100 зависимостей, учитывая материал (бетон, раствор, кирпич), условия твердения бетона, и его возраст. Кроме того, в приборе имеется возможность установления еще двух индивидуальных градуировочных зависимостей.

Прибор 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.

Таблица 2.3

Технические характеристики ИПС—МГ4+

Характеристика	Значения
Диапазон измерения прочности, МПа	3—100
Предел погрешности измерения прочности, (не более), %	10
Время одного цикла измерения, с	15—30
Габариты, мм	175×90×30
Вес (с датчиком), кг	1,1
Рабочая температура, °С	-10—+40

Диагностирование металлических опор ультразвуком

Ультразвуковой дефектоскоп для металлов А1212. Прибор предназначен для поиска и определения координат нарушений сплошности и однородности материала в изделиях из металлов и пластмасс при шероховатости поверхностей до Rz200 (табл. 2.4).

Прибор позволяет контролировать сварные швы, измерять толщину стенок изделий, находить места коррозии, трещины, внутренние расслоения и другие дефекты.

Прибор отображает принятые сигналы в виде традиционной развертки с градуировкой горизонтальной оси в миллиметрах или микросекундах. Изображение на экране можно остановить (зафиксировать), 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 имеется режим построения изображения сечения контролируемого объекта (В-развертка).

Таблица 2.4

Технические характеристики прибора А1212

Наименование параметра	Значение
Номинальные рабочие частоты ультразвука, МГц	1,0; 1,2; 1,8; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0
Максимальная толщина изделий, 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 аттенюатора, дБ	0–60 (с шагом 1)
Количество конфигураций в библиотеке настроек	15
Число хранимых изображений экрана	не менее 200
Продолжительность непрерывной работы от одного комплекта элементов питания с подсветкой экрана, ч	15
Продолжительность непрерывной работы от одного комплекта элементов питания без подсветки экрана, ч	40
Габаритные размеры электронного блока, мм	235×98×33
Вес электронного блока, г	800
Рабочая температура, °С	-20–+45

Прибор рассчитан на использование стандартных методик и методов ультразвукового контроля. Прибор совместим с разнообразными преобразователями (совмещенными, отдельными, отдельно-совмещенными, в т.ч. прямыми и наклонными), отечественного и зарубежного производства с рабочими частотами от 1 до 15 МГц.

Комплект поставки прибора А1212 включает блок электронный, 5 преобразователей, 2 кабеля, 4 элемента питания (типа АА), сумку и эксплуатационную документацию. Результаты диагностирования опор заносятся в табл. 2.5. На основании этих результатов проводится анализ состояния опор и делается вывод об их готовности к эксплуатации.

Таблица 2.5

Диагностирование опор ВЛ

Вид осмотра	Дата, время	№ опоры	Название дефекта и его описание	Число дефектов на 1 м опоры

Проверка заземляющих устройств

Измерение сопротивления заземлителей обычно осуществляется с помощью специального измерителя заземлений (Ф–4103 или М–416, МС–08) или измерителем кажущегося сопротивления (ИКС–1). Если измеритель отсутствует, то измерение сопротивления заземлителей производят с помощью амперметра и вольтметра методом «трех земель».

Прибор Ф–4103 (рис. 2.6.) представляет собой четырехзахимный омметр прямого преобразования с автономным питанием от 9 сухих элементов (А 373) напряжением 1,5 В, 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, напряжения прикосновения и шага, а также удельное сопротивление земли при температуре воздуха от –25 °С до +40 °С. Прибор Ф–4103 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 его модификация (Ф–4103 М) — еще и от 3000 и до 15 000 Ом.

Схема измерения сопротивления заземлителей с помощью прибора Ф-4103 представлена на рис. 2.6.

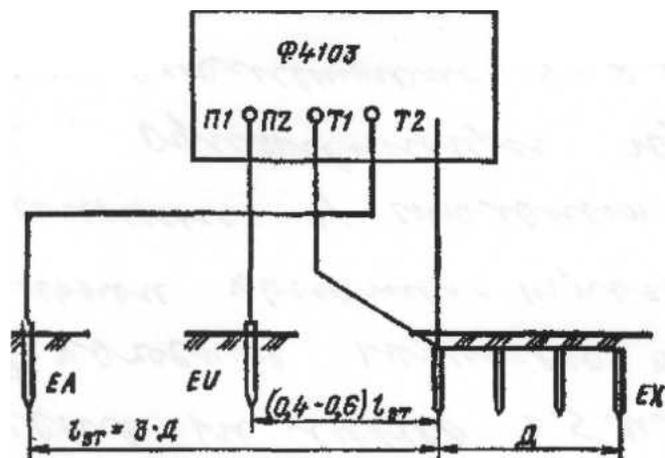


Рис. 2.6. Схема присоединения прибора Ф-4103 к проверяемому ЕХ, потенциальному ЕУ и вспомогательному токовому ЕА электродам

При проверке заземляющих устройств выборочно вскрывают грунт, определяют глубину заложения устройства (не менее 0,5 м, а на пахотной земле — 1 м) и габариты стальных заземлителей и заземляющих проводников. Диаметр круглых заземлителей и заземляющих проводников должен быть не менее 6 мм, а площадь сечения прямоугольных — не менее 48 мм². Сопротивление заземляющих устройств следует измерять в периоды наименьшей проводимости почвы: летом — при наибольшем просыхании почвы, зимой — при наибольшем промерзании. Сопротивления заземляющих устройств измеряют специальными приборами типа МС-07 и М-416. При этом питающее электроустановку напряжение (рис. 2.7) 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 в 3 раза превышал 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, а также «Латвэнерго».

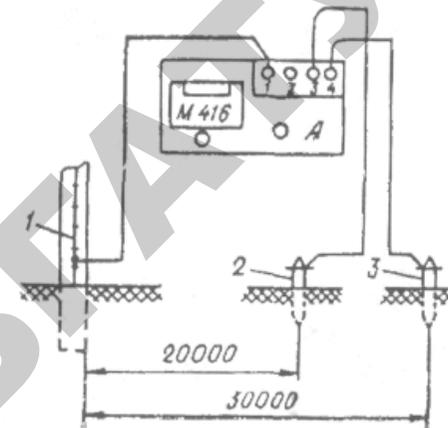


Рис. 2.7. Схема измерения сопротивления заземления опоры прибором М-416:

1 — спуск к заземляющему устройству;
2 — потенциальный зонд; 3 — токовый зонд

Следует отметить, что для этих целей также применяют и безразрывный измеритель сопротивления растеканию тока в землю (ИСЗ) с заземлителями электроустановок, работающих в электрических сетях напряжением 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 прибора ИСЗ можно измерять значение тока в заземляющем проводнике, что обеспечивает контроль целостности зануляющей цепи электроустановки. Прибор ИСЗ также определяют токи в нулевых проводах для разделения их на токоведущие и защитные электрические цепи при монтаже и наладке систем защитного отключения (рис. 2.8).

Принцип работы ИСЗ основан на измерении естественного тока в проводнике, соединяющем нулевой провод с заземлителем, и его электрического потенциала (рис. 2.8).

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, в соответствии с их проводимостями и распреде-

ляется ток нейтрали ТП. Измеряя естественный ток заземлителя и его электрический потенциал, по закону Ома определяют сопротивление растеканию тока в землю с испытуемого заземлителя. Прибор ИСЗ позволяет измерять токи в диапазоне от 100 мА до 10 А и сопротивления в диапазоне от 0,1 до 10 Ом.

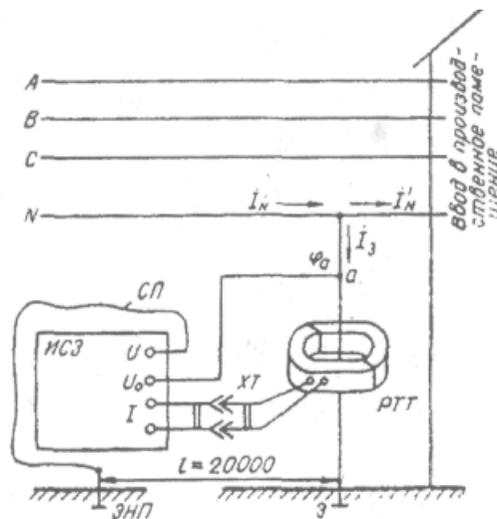


Рис. 2.8. Схема включения прибора ИСЗ для измерения сопротивления повторного заземлителя: А, В, С и N — фазные и нулевой провод электрической цепи 0,4 кВ; РТТ — высокочувствительный разъемный трансформатор тока; Х — штепсельный разъем для присоединения РТТ к измерительному блоку ИСЗ; ЭНП — электрод нулевого 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

Проверка стрел провеса и габаритов ВЛ

Эти параметры можно измерять без снятия напряжения и с его снятием. Без снятия напряжения габариты линий определяют при помощи теодолитов, специальных оптических угломерных приборов или изолирующих штанг. Наиболее точным из этих способов измерения является определение размеров.

Им измеряют угол α между прямой, соединяющей провод с местом установки прибора, и прямой, соединяющей прибор с проекцией точки провода на земле. Затем, по тригонометрическим

формулам находят расстояние h между проводом и землей. На горизонтальном участке трассы:

$$h = D \cdot \operatorname{tg} \alpha + i, \quad (2.19)$$

где D — горизонтальное расстояние от теодолита до проекции провода, м;

i — высота теодолита от земли.

Для непосредственного измерения габаритных размеров линии применяют изолирующие штанги. При этом один монтер касается провода линии концом штанги, а 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, как правило, 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 нормируемой величины 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 и оказывать помощь в проведении инструктажей о правильной организации работ вблизи ВЛ для рабочих; проводить разъяснительную работу среди учащихся об опасности и недопустимости любых игр под проводами ВЛ и ущербе, к которому может привести отключение линии.

Вопросы для самоконтроля

1. Классификация и устройство опор и заземляющих устройств.
2. Диагностирование различных видов опор.
3. Приборы для диагностирования опор.
4. Методы диагностирования заземляющих устройств.

2.5. Диагностирование устройств, обеспечивающих электробезопасность (УВЭП, УЗО и др.)

Содержание

Принципы действия УВЭП, УЗО. Классификация УЗО. Особенности выполнения УВЭП в сельскохозяйственных помещениях. Методы диагностирования защитных устройств.

Электробезопасность обслуживающего персонала и сельскохозяйственных животных обеспечивается в соответствии с требованиями МЭК. Для этого применяются устройства отключения (УЗО), уравнивания электрических потенциалов (УВЭП), в соответствии с ГОСТ 30331.3—95, а для крупных животноводческих помещений (с числом скотомест 20 и более в одном строении, насыщенных электрооборудованием и металлоконструкциями), применяются УЗО и УВЭП, в соответствии с ГОСТ 30331.3—95, совместно с выравниванием электрического потенциала между металлоконструкциями. Следует отметить, что наряду с электробезопасностью УЗО 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 способов защиты людей от поражения электрическим током является зануление (соединение металлических нетоковедущих частей электрооборудования с защитным нулевым проводником). При повреждении изоляции создается однофазное короткое замыкание на зануленный корпус, что приводит к отключению защитного аппарата сети.

Для эффективного функционирования этой меры защиты, а также для оценки надежности срабатывания аппаратов защиты (автоматических выключателей и предохранителей) необходимо выполнение следующего условия:

$$I_k^{(l)} \geq KI_3, \quad (2.20)$$

где $I_k^{(l)}$ — 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 провод — нулевой провод». Для диагностирования защиты необходимо периодическое измерение тока однофазного короткого замыкания и его сравнение с допустимым значением согласно условию (2.20).

Для измерения указанного тока применяются приборы ЭК 0200, Щ41160 и др. Измеритель ЭК 0200 представляет собой переносной прибор (в пластмассовом футляре размещаются блоки короткозамыкателя и измерения, а также соединительные провода и шнуры).

Помимо аппаратов защиты к устройствам обеспечения электробезопасности относятся и 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 все эти устройства условно делятся на две категории.

К первой категории относятся устройства, подлежащие ремонту в условиях специализированных мастерских либо не подлежащие ему:

- 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) этих средств обеспечения электробезопасности (за исключением периодического внешнего осмотра и протирки их от пыли), проводит специально обученный персонал с разрешения Технического управ-

ления 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 колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных предприятий):

- системы зануления;
- системы 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 этапу относятся периодические осмотры и устранение мелких неисправностей (например, зачистка контактов коммутационных аппаратов от нагара), ко второму — периодические испытания.

Периодические осмотры предусматривают:

1) применительно к индивидуальным средствам защиты — проверку по штампу (до какого напряжения допустимо применение данного средства и не истек ли его срок периодического 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;

2) 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 и (при необходимости) окраску зануляющих и заземляющих проводников;

3) применительно к устройствам для выравнивания электрических потенциалов, элементы которого не защищены бетоном, — визуальную проверку целостности выравнивающих элементов;

4) применительно к аппаратам защитного отключения — осмотр силовых контактов коммутационного аппарата и зачистку при обнаружении нагара, проверку работоспособности аппарата нажатием кнопки «Контроль».

Периодические испытания защитных средств электробезопасности предусматривают следующее:

1) 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;

2) применительно к устройствам защитного отключения — измерение тока уставки и времени срабатывания устройства;

3) применительно к системе зануления — измерение сопротивления петли «фаза-нуль» и измерения тока срабатывания коммутационного аппарата, а также проверку соответствия номинальных токов фактическому току замыкания на корпус при наличии плавких вставок;

4) применительно к системе заземления — измерение сопротивления растеканию токов заземлителя, предназначенного для повторного заземления нулевого провода, и заземлителя трансформаторной подстанции, если последняя находится на балансе хозяйства;

5) применительно к устройствам для выравнивания электрических потенциалов (УВЭП) — измерение напряжений прикосновения и шага в стойлах ферм для всех возможных аварийных режимов.

Текущий ремонт устройств обеспечения электробезопасности второй категории включает замену порванных или поврежденных коррозией заземляющих и зануляющих проводников, а также поврежденных контактных соединений (болтовых или выполненных при помощи сварки). Кроме того, ремонт предусматривает проверку заземлителей путем выборочного их вскрытия, замену отдельных элементов (или всего его заземления при необходимости), проверку и перепайку зажимов переносных заземлителей, замену поврежденных гибких канатиков при необходимости, замену ограждений, окраску зануляющих и заземляющих проводников, проводников УВЭП, временных ограждений, а также 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 болтовым соединением и удовлетворять требованиям ГОСТ 3031.3—95.

Открыто проложенные, заземляющие проводники должны иметь отличительную окраску в соответствии с требованиями ГОСТ 3031.3—95.

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 для присоединения к заземляющему устройству, выполняются из неизолированных гибридных медных многожильных проводов, имеющих сечение, (но не менее 25 мм²) соответствующее требованиям термической стойкости этих проводов при коротких замыканиях.

Для определения технического состояния заземляющего устройства периодически проводятся следующие мероприятия:

- 1) внешний осмотр видимой части заземляющего устройства;
- 2) 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;
- 3) измерение сопротивления заземляющего устройства;
- 4) проверка цепи «фаза–нуль»;
- 5) проверка надежности соединений естественных заземлителей;
- 6) выборочное вскрытие грунта для осмотра элементов заземляющего устройства, находящегося в земле;
- 7) измерение удельного сопротивления грунта для опор линий электропередачи напряжением выше 1000 В.

Внешний осмотр заземляющего устройства производится вместе с осмотром электрооборудования 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, для обеспечения напряжения прикосновения в соответствии с действующими нормами.

На каждое находящееся в эксплуатации заземляющее устройство должен иметься паспорт, содержащий схему заземления, его основные технические характеристики, данные о результатах проверки состояния заземляющего устройства, о проведенных ремонтах 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 табл. 2.6.

Таблица 2.6

Периодичность осмотров и испытаний защитных средств

Защитные средства	Испытания	Осмотры
Изолирующие клещи	1 раз в 2 года	1 раз в год
Токоизмерительные клещи	1 раз в год	1 раз в 6 месяцев
Указатели напряжения, работающие на основе принципа 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 месяцев	То же
Боты резиновые диэлектрические	1 раз в 3 года	1 раз в 6 месяцев
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 (табл. 2.7).

Техническое обслуживание и текущий ремонт устройств обеспечения электробезопасности проводит электротехнический персонал сельскохозяйственного предприятия (колхоза, совхоза и т. д.)

без чьих-либо разрешений (кроме измерения сопротивления заземления на ТП и повторных заземлений на ВЛ 0,4 кВ, если их обслуживают сотрудники энергосистемы).

Таблица 2.7

Периодичность проведения технического обслуживания и текущего ремонта устройств обеспечения электробезопасности

Устройства	Периодические смотри	Периодиче- ские испытания	Текущие ремонт
Аппараты защитного отключения всех систем	1 раз в 3 месяца	1 раз в 6 месяцев	—
Разделяющие трансформаторы	1 раз в сутки	1 раз в год	—
Заземляющее устройство: – на ТП – на вводе в помещение – на воздушной линии	1 раз в 6 месяцев 1 раз в 3 месяцев 1 раз в 6 месяцев	1 раз в год 1 раз в год 1 раз в год	1 раз в 6 лет 1 раз в 6 лет 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 месяцев	1 раз в год	1 раз в 2 года
Система зануления, включая аппараты защиты	1 раз в 6 месяцев	1 раз 5 лет	1 раз в 10 лет
Система зануления в животноводческом помещении	1 раз в 6 месяцев	см. примечание	1 раз в 6 лет
Изолирующие вставки, включая изоляцию электронагревателей	1 раз в 6 месяцев	1 раз в год	1 раз в 6 лет

Контроль исправности устройств для выравнивания электрических потенциалов

Измерения, являющие основой контроля надежности устройств, должны проводиться лабораторией, имеющей соответствующий аттестат аккредитации. Такие лаборатории могут быть в составе обслуживающих организаций и в составе сельхозпредприятий (фермерских хозяйств и т. п.)

Контроль исправности УВЭП или проверку достаточности естественного выравнивания электрических потенциалов следует осуществлять измерением распределения напряжений прикосновения и шага на полах стойл в местах размещения животных либо оценкой реакции животных (отсутствию вздрагивания) на кратковременную (длительностью не более 0,05 с) подачу фазного напряжения сети (220 В в режиме холостого хода), с начальной фазой 80–100° или 260–280° непосредственно на зануленные металлоконструкции, которые могут быть доступны для прикосновения животных. При этом безопасность 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 является менее надежной (по сравнению с изоляцией двух других фаз). Несоблюдение этого требования может привести к пробое изоляции и вызвать массовую гибель скота и поражение людей. Для обеспечения надежного электрического контакта в месте подачи напряжения в качестве зажима для подключения фазного провода короткозамыкателя к металлоконструкциям следует 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 животных металлоконструкциями. Когда контроль исправности УВЭП и проверка достаточности естественного выравнивания электрических потенциалов осуществлялись измерением напряжений прикосновения и шага, то обязательной является 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.

Измерять распределения напряжений прикосновения, шага и токов короткого замыкания рекомендуется измерителем ЭКО 200; а токов короткого замыкания — измерителем Щ41160. 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, который 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, сертифицированных в Республике Беларусь.

Предпусковой контроль исправности УВЭП или проверку достаточности естественного выравнивания электрических потенциалов следует проводить 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 их содержания в этих помещениях в течение одного месяца, (т. е. в период, когда увлажнение полов стойл выделениями животных достигнет состояния, которое имеет место в нормальном эксплуатационном режиме содержания животных в соответствии с РД ВУ 008.609.90-099—2005 «Защита сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током»).

Если окажется, что измеренные на первом этапе значения напряжений прикосновения и шага в помещениях для животных превышают допустимые значения, то размещать животных в таких помещениях категорически запрещается.

Если же превышение допустимого напряжения будет обнаружено на втором этапе, то необходимо обеспечить надежное выравнивание электрических потенциалов путем немедленной прокладки дополнительных элементов УВЭП.

Периодический контроль исправности УВЭП или проверку достаточности естественного выравнивания электрических потенциалов необходимо проводить не реже одного раза в год. В том числе контроль и проверка осуществляются:

- 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 напряжением 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 соответствующим актом.

Перед вводом фермы в эксплуатацию (а затем и периодически), необходимо проверять с помощью измерителя сопротивления заземления М-416 или калиброванного нагрузочного резистора с водяным охлаждением НР-64/220 то, 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 безопасность людей и 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 эти 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 или организуют проверку работники электротехнической службы хозяйства).

При наличии акта, составленного по результатам измерений напряжения прикосновения и шага и свидетельствующего о том, что выравнивание электрических потенциалов на ферме обеспечивает электробезопасность людей, сельскохозяйственных животных в режиме замыкания на корпус, то измерять сопротивление изоляции силовых и осветительных электропроводок и других электрических цепей на ферме не требуется. Проверку состояния электрической изоляции таких цепей следует проводить только их тщательным внешним осмотром, (не реже одного раза в год), с обязательным отражением результатов проверки в акте, который должен храниться у лица, ответственного за данное электрохозяйство.

При этом не требуется также измерять сопротивление контактов в цепях между заземленными установками и их элементами. Нали-

чие таких цепей следует проверять так же, как и наличие цепей между заземлителями и заземленными элементами, т. е. путем их 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 данное электрохозяйство.

Акты проверок являются приложением к отчету, который должен быть подписан руководителем организации, проводившей проверку, и скреплен печатью. Акты проверок без соответствующего отчета являются недействительными.

Вопросы для самоконтроля

1. Классификация защитных устройств.
2. Принцип действия УЗО, УВЭП.
3. Особенности выполнения УВЭП в сельскохозяйственных помещениях.
4. Контроль исправности УВЭП.
5. Методы диагностирования защитных устройств.

2.6. Комплексное диагностирование электрооборудования

Содержание

Диагностирование электрооборудования по нескольким параметрам. Диагностирование электрооборудования при сдаче-приемке в эксплуатацию. Диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании и текущем ремонте.

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—99 (МЭК 60364-6-61—86). При этом разделяют визуальный осмотр электрооборудования и собственно испытания. Визуальный осмотр проводят с целью удостовериться, что все

стационарно установленное оборудование удовлетворяет требованиям безопасности и соответствующим стандартам, (оно правильно выбрано и смонтировано, не имеет видимых повреждений, снижающих его безопасность и надежность). При осмотре проверяют следующее:

- 1) наличие противопожарных уплотнений;
- 2) защиту от тепловых воздействий, и от поражения электрическим током (расстояния до защитных ограждений и оболочек, маркировку нулевых и защитных проводников, наличие схем, предупреждающих надписей);
- 3) маркировку цепей, предохранителей;
- 4) правильность соединения проводников;
- 5) наличие правильно расположенных соответствующих отключающих и отделяющих аппаратов;
- 6) правильность выбора устройств защиты и сигнализации и уставок их срабатывания.

При испытаниях электрооборудования должны быть выполнены его проверки, измерения и испытания в следующей последовательности:

- 1) испытания непрерывности защитных проводников;
- 2) измерения сопротивления изоляции электроустановки;
- 3) проверка защиты путем разделения цепей;
- 4) измерение сопротивления изоляции пола и стен;
- 5) проверка защиты, обеспечивающей автоматическое отключение источника питания;
- 6) проверка полярности;
- 7) испытания на электрическую прочность;
- 8) проверки на работоспособность, термическое воздействие и потерю напряжения.

Техническое состояние электрооборудования определяют в процессе технического обслуживания, планового диагностирования и текущего ремонта этого оборудования.

При техническом обслуживании электрооборудования диагностирование служит для определения работоспособности этого оборудования, проверки стабильности его 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 электрооборудования контролируют параметры, которые характеризуют его техническое состояние и позволяют определять остаточный ресурс деталей и узлов, ограничивающих ресурс этого оборудования.

Во время диагностирования оборудования при текущем ремонте, проводимом на специализированном участке или в мастерской, в основном, измеряют параметры, характеризующие техническое состояние обмоток этого электрооборудования. Остаточный ресурс обмоток, являющихся основным узлом электрооборудования, меньше периода между текущими ремонтами. Если ресурс обмоток должен быть не меньше межремонтного периода, то оно электрооборудование подлежит капитальному ремонту.

При отказах электрооборудования его подвергают внеплановому диагностированию, позволяющему определить, те узлы и детали, которые подлежат ремонту или замене, а также установить его вид (текущий или капитальный ремонт).

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 оборудования при проведении его технического обслуживания и планового диагностирования определяют без разборки этого электрооборудования. Перед его диагностированием снимают только защитные сетки вентиляционных окон, крышки коробов выводов и другие быстросъемные детали (при необходимости), обеспечивая доступ к диагностируемому узлам.

Следует отметить, что внешний осмотр узлов и деталей электрических машин и аппаратов (особенно обмоток) при их диагностировании во время текущего ремонта является его важным этапом, так внешним осмотром обмоток можно определить техническое состояние пазовых клиньев, бандажей крепления лобовых частей обмоток и якорей, изоляции соединений между катушечными группами обмоток, а также между проводами и выводными концами. Внешним осмотром также определяют степень загрязнения обмоток. Наиболее важным фактором внешнего осмотра является определение наличия перегрева обмотки по различным причинам во время перегрузок. У обмоток с проводами с эмалевой изоляцией признаком перегрева

служит потемнение изоляции витков, по которым проходил ток, значительно превышающий его номинальное значение.

Потемнение является и признаком перегрева контактных разъемных и неразъемных соединений электрических машин и аппаратов.

Диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании

Диагностирование при техническом обслуживании оборудования проводят для оценки его общего технического состояния и подтверждения того, что электрооборудование не требует ремонта, т. е. для установления его работоспособности. Объем диагностирования при этом 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, приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Диагностирование электрооборудования при его техническом обслуживании

Наименование электрооборудования	Измеряемый параметр	Средство измерения
1	2	3
Электродвигатели асинхронные единых серий	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, соединений выводных концов с подводными питающими проводами в зоне контакта щеток с контактными кольцами	Мегомметры, приборы для измерения амплитуды вибрации, электроизмерительные клещи, приборы для бесконтактного измерения температуры
Погружные электродвигатели	1. Сопротивление изоляции обмотки статора 2. Токи, потребляемые электродвигателем	Мегомметры Электроизмерительные клещи

Продолжение табл. 2.8

1	2	3
Генераторы передвижных электростанций	1. Сопротивление изоляции обмотки статора относительно корпуса и обмотки якоря относительно вала 2. Амплитуда вибрации корпуса и 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	Мегомметры, приборы для измерения амплитуды вибраций, приборы для бесконтактного измерения температуры
Сварочные генераторы	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	Мегомметры, приборы для измерения амплитуды вибраций, приборы для бесконтактного измерения температуры
Сварочные преобразователи	1. Сопротивление изоляции обмоток якоря и полюсов генератора и обмотки статора электродвигателя 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 подводящими питание проводами	Мегомметры, приборы для измерения амплитуды вибраций, приборы для бесконтактного измерения температуры
Магнитные пускатели	1. Температура контактов и мест соединений силовых цепей 2. Задержка в отпуске магнитной системы при отключении магнитного пускателя 3. Температура контактов и мест с	Термометры, приборы для измерения амплитуды вибраций

Окончание табл. 2.8

1	2	3
Автоматические выключатели и электрокалориферы	1. Сопротивление изоляции 2. Температура воздуха на выходе	Приборы для бесконтактного измерения температуры
Электродонагреватели и парогенераторы	1. Переходное сопротивление между корпусом и шиной контура заземления 2. Сопротивление изоляции между корпусом (изолированным) и контуром заземления 3. Потребляемый ток	Мегомметры, термометры, омметры, электроизмерительные клещи

Примечание. При диагностировании электродвигателей, генераторов передвижных электростанций, сварочных генераторов и преобразователей, магнитных пускателей проводится прослушивание их работы для 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 табл. 2.9.

Таблица 2.9

Плановое диагностирование электрооборудования

Наименование операции	Измеряемые параметры	Применяемые приборы и 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);	Компрессор, ключи гаечные, отвертка. Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС–23, микроамперметр М–95

Продолжение табл. 2.9

1	2	3
	– величина несимметрии в фазах обмотки; стабильность при повышении напряжения до 1800 В (отсутствие колебаний и бросков), соединений силовых цепей	
Определение состояния межвитковой изоляции обмоток	Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1500 В)	Аппарат ВЧФ–Э–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–64111
Определение состояния короткозамкнутой обмотки ротора	Величина относительного изменения тока в фазе обмотки статора электродвигателя при проворачивании ротора: $\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\text{vax}}} \cdot 100 \%,$ где I_{\max} , I_{\min} — наибольшее и наименьшее значение тока, А	Схема для проверки обмоток роторов
Проверка центровки вала электродвигателя и рабочей машины	Величина параллельного и углового смещения валов	Приспособление для центровки валов 70–8701–200
Определение состояния обмотки статора	Токи утечки: – абсолютная величина (при напряжении 600В); – приращение при повышении напряжения (от 1000 до 1100В); – тангенс угла диэлектрических потерь	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС–23, микроамперметр М–95, мост Р–5626. Амперметр Э–514

Продолжение табл. 2.9

1	2	3
Определение состояния короткозамкнутой обмотки ротора. Определение нагрузки электродвигателя	Величина модуляции тока в фазах обмотки статора при работе электродвигателя. Величина токов, потребляемых электродвигателем из сети	Электроизмерительные клещи Ц–4501
Генераторы подвижных электростанций		
Осмотр, проверка работы, выполнение операций технического обслуживания. Определение состояния корпусной и межфазной изоляции обмотки статора	Те же, что и для электродвигателей асинхронных	Компрессор, ключи гаечные, отвертка. 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 1500В)	Аппарат ВЧФ–5–3
Определение состояния обмоток полюсов: изоляция относительно активной стали полюсов	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
Межвитковая изоляция	Уровень электрической прочности при подаче высокочастотного напряжения (до 1000 В)	Аппарат ВЧФ–5–3
Определение состояния подшипниковых узлов	Величина зазоров в размерной цепи «вал — станина» при зажатых и отпущенных болтах крепления подшипниковых щитов	Схемы или прибор для диагностирования подшипников КИ–64111

Продолжение табл. 2.9

1	2	3
Определение состояния щеточного механизма	Высота щеток. Усилие нажатия на щетки. Зазор между нижней кромкой обоймы щеткодержателя и поверхностью контактного кольца	Штангенциркуль. ШЦ-I-125-0,1. Динамометр. Шаблон
Проверка контактных и разрезных колец мех. 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 тех. обслуживания	Изменение напряжения на зажимах генератора при регулировании сварочного тока	Компрессор и др.
Проверка работы генератора	Напряжение на зажимах при номинальном токе генератора. Степень искрения под сбегающим краем щеток при номинальном токе	Вольтметр Э-515, амперметр Э-514
Определение состояния щеточного механизма	Высота щеток. Усилие нажатия на щетки. Зазор между нижней кромкой обоймы щеткодержателя и поверхностью коллектора	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1. Динамометр. Шаблон
Определение состояния коллектора	Глубина залегания изоляции между пластинами коллектора. Величина биения коллектора. Падение напряжения между расположенными рядом пластинами	Штангенциркуль. ШЦ-I-125-0,1. Индикатор часового типа. Схема для измерения падения напряжений

Продолжение табл. 2.9

1	2	3
Определение состояния механизма регулирования сварочного тока	Изменение сопротивления реостата при вращении маховика регулирования сварочного тока. Величина сопротивления между выводами реостата	Омметр М-372. 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 напряжения (от 500 до 1600 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 1500В); стабильность при повышении напряжения (до 1500 В). Уровень электрической прочности при приложении высокочастотного напряжения	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95. Аппарат ВЧФ-5-3
Определение состояния межвитковой изоляции параллельных катушек главных полюсов	Те же токи утечки, что для асинхронных электродвигателей	
Определение состояния электродвигателя привода сварочного преобразователя		
Магнитные пускатели		
Осмотр, проверка работы, выполнение операций технического обслуживания	В соответствии с ТКП 181—2009г.	Отвертка, ключи гаечные и др.

Продолжение табл. 2.9

1	2	3
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 технического обслуживания	Отсутствуют	Отвертка, ключи гаечные и др.
Определение состояния контактной системы	Нажатие, провалы контактов	Прибор для измерения параметров контактных систем КИ-6427
Электрокалориферы		
Осмотр		Компрессор, ключи гаечные, отвертка и др.
Определение состояния трубчатых нагревательных элементов	Сопротивление элементов. Сопротивление изоляции элементов. 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	Те же, что для электродвигателей асинхронных	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, аппарат ВЧФ-5-3, и др.

Окончание табл. 2.9

1	2	3
Электроводонагреватели и парогенераторы		
Осмотр, выполнение операций технического обслуживания	Отсутствуют	Компрессор, ключи гаечные, отвертка
Определение состояния нагревательных элементов	Сопротивление элементов (трубчатых). Сопротивление изоляции элементов. Сопротивление изоляции между корпусом (изолированным) и контуром заземления. Потребляемый ток	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.

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 электрооборудования его диагностирование проводят для определения остаточного ресурса основных узлов и деталей, необходимости их замены или ремонта, а также того, подлежит ли электрооборудование сдаче в капитальный ремонт.

Объем и порядок диагностирования электрооборудования при текущем ремонте регламентируется технической документацией.

Диагностические параметры, измеряемые при текущем ремонте электрооборудования, приведены в табл. 2.10.

Таблица 2.10

Диагностирование электрооборудования при текущем ремонте

Наименование диагностируемого узла или детали	Степень разборки электрооборудования	Диагностируемый 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
Изоляция обмотки фазного ротора относительно активной стали	Ротор, вынутый из расточки статора	Те же характеристики токов утечки, что и 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

Продолжение табл. 2.10

1	2	3	4
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
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 1000В); 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 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 1100В)	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 табл. 2.10

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 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
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

Продолжение табл. 2.10

1	2	3	4
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
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	Сопротивление элементов. Сопротивление изоляции	Омметр М-372 Мегаомметр М-4100/3
Регулятор температуры	Электрокалорифер в сборе	Температура срабатывания регулятора	Термометр ТЛ-4
Электродвигатель вентилятора	Электродвигатель в сборе	То же, что и для электродвигателя асинхронного	Приборы или схемы для измерения токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95, аппарат ВЧФ-5-3.

1	2	3	4
Электроводонагреватели и парогенераторы			
Нагревательные элементы	Сняты токопроводящие проводники	Сопротивление трубчатых элементов. Сопротивление изоляции элементов	Омметр М-372 Мегомметр М-41000/3
Регулятор температуры	Электронагреватель и парогенератор в сборе	Температура срабатывания регулятора. Температура воды или пара на выходе	Термометр ТЛ-4 Термометр ТЛ-4

Диагностирование электрооборудования при капитальном ремонте

При капитальном ремонте электрооборудования его диагностирование проводят, в основном, для определения остаточного ресурса обмоток электрических машин с целью установления целесообразности их дальнейшей эксплуатации или замены. В наибольшей мере, как правило, 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 подлежит капитальному ремонту. Если данные диагностирования других обмоток машины показывают, что они имеют остаточный ресурс меньше периода между капитальными ремонтами, то обмотки следует перемотать.

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. Комплексное диагностирование электрооборудования.
2. Особенности комплексного диагностирования электрооборудования при его техническом обслуживании и текущем ремонте.

3. Диагностирование электрооборудования при его сдаче-приеме в эксплуатацию.
4. Плановое диагностирование электрооборудования.

2.7. Диагностирование оборудования вибрационными методами

Содержание

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 операции или о дальнейшем использовании объекта.

Последовательность технологических операций вибродиагностики представлена на рис. 2.9.



Рис. 2.9. Последовательность технологических операций вибродиагностики

Основной задачей вибродиагностики является определение дефектов ЭД по характеристикам вибрационного сигнала — диагностическим признакам (ДП).

Для этого разрабатывается специальное диагностическое оборудование (СДО) для виброконтроля и вибродиагностики, отличающееся друг от друга конструктивным исполнением, методами и средствами реализации распознавания отдельных дефектов ЭД.

Следует отметить, что в процессе вибродиагностики определяются 2 возможных состояния ЭД по вибрационным показателям —

исправен и неисправен. Для описания исправного состояния ЭД вводятся понятия его эталона и границы области исправных состояний. Построение эталонов производится с применением теории вероятностей и математической статистики на основе анализа амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) определенной выборки электродвигателей, изготовленных в строгом соответствии со всеми требованиями технологии.

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:

а) при номинальном напряжении питания ЭД с вентилятором и кожухом;

б) при номинальном U питания ЭД без вентилятора и кожуха;

в) 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, которые определяют по следующим формулам:

1) для регистрации дефекта от дисбаланса ротора

$$f_1 = \frac{n}{60}, \quad (2.21)$$

где n — частота вращения ротора, мин;

2) для регистрации дефекта от радиального зазора в подшипниках

$$f_2 = \frac{n}{60} \cdot \left(1 - \frac{d_m}{D_0}\right) \cdot \frac{Z_m}{2}, \quad (2.22)$$

где d_m — диаметр шарика в подшипнике, м;

D_0 — окружность центров шариков подшипнике, м;

Z_m — количество шариков в подшипнике;

3) для регистрации дефекта от овальности колец

$$f_3 = \frac{2n}{60}; \quad (2.23)$$

4) для регистрации дефекта от овальности тел качения

$$f_4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{D_0 Z_m}{d_m} \cdot \left(1 - \frac{d_m^2 D_0}{d_m^2}\right) \cdot \frac{n}{60}; \quad (2.24)$$

5) для регистрации дефекта на дорожке качения наружного контактного кольца подшипника

$$f_5 = \frac{Z_m}{2} \cdot K_1 \cdot \left(1 - \frac{d_m}{D_0}\right) \cdot \frac{n}{60}, \quad (2.25)$$

где K_1 — число дефектов на дорожке качения наружного контактного кольца;

6) для регистрации дефекта на дорожке качения внутреннего кольца подшипника

$$f_6 = \frac{Z_m}{2} \cdot K_1 \cdot \left(1 + \frac{d_m}{D_0}\right) \cdot \frac{n}{60}, \quad (2.26)$$

где K_2 — число дефектов на дорожке качения внутреннего кольца;

7) для регистрации дефекта сборки подшипниковых узлов (перенос и несоосность колец):

$$f_7 = \frac{1}{2} \cdot K_3 \cdot \left(1 \pm \frac{d_m}{D_0}\right) \cdot \frac{n}{60}, \quad (2.27)$$

где K_3 — число гармонических вибраций;

8) для регистрации дефекта от неравномерности воздействия зазора:

$$f_8 = \left[\frac{K_4 Z_2 \pm 1}{P} (1 - S) + 2 \right] f_0, \quad (2.28)$$

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;

9) для регистрации дефекта от асимметрии питающего тока:

$$f_9 = 2f; \quad (2.29)$$

10) для регистрации дефекта от аэродинамических дефектов и дисбаланса вентиля:

$$f_{10} = \frac{n}{60}. \quad (2.30)$$

Вместе с тем данная методика анализа имеет следующие недостатки:

- а) построение эталонной АЧХ для ЭД всех исполнений — трудоемкая работа и требует высокой квалификации оператора;
- б) закрепление ЭД на резиновой подвеске, датчика на лапах или подшипниковых щитах требует времени и не обеспечивает достаточной точности;
- в) снятие действительной АЧХ и ее сравнение с эталоном и выявление диагностического признака является трудоемкой задачей, требующей высокой квалификации оператора и дорогостоящих средств измерений.

Следует отметить, что предложен ряд конструктивных стенов для вибродиагностики, но они не пригодны для использования из-за их существенных недостатков.

При вибродиагностике ЭД определяется следующее:

- 1) уровни отдельных составляющих спектров вибрации;
- 2) случайные колебания деталей (отображаются);
- 3) параметры изменения колебаний во времени;
- 4) характеристики амплитудной и частотной модуляции колебаний;
- 5) частоты собственных колебаний отдельных элементов ЭД;
- 6) геометрические погрешности изготовления.

Системы измерения и анализа параметров вибрации

Данные 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 следующими:

- а) простейшие измерительные системы узкоцелевого назначения (применяются в полевых или цеховых условиях для оценочных измерений, имеют низкую точность и ограниченные возможности, служат для измерения только отдельных параметров вибрации);
- б) измерительные многофункциональные (позволяют измерять параметры вибраций, анализировать, получать гистограммы, диаграммы и зависимости);
- в) аналого-цифровые (различные виды анализа и измерений);
- г) 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.

Следует отметить, что в Армении разработана рабочая документация на вибродиагностику ЭД, с высотами осей вращения 45–63 мм общего применения (РД 16.232-84) и создан вибростенд, определяющий следующие дефекты изготовления и сборки ЭД:

- 1) дисбаланс вращающегося ротора;
- 2) дефекты изготовленных подшипников;
- 3) дефекты сборки подшипниковых узлов;
- 4) неравномерность зазора между статором и ротором;
- 5) асимметрию питающего напряжения;
- 6) 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 составляют: виброскорости — 75–130, приведенной скорости — 55–110, (абсолютная погрешность $\pm 1,5$ дБ); при этом диапазон измерения рабочих частот составляет 8–8000 Гц, собственная частота — 4–5 Гц; масса и ЭД — 4–31 кг диагностирования — 480–3000 мин.

Диагностика проводится в соответствии с РД 16. 232-84 (НИИ электромашиностроения. «Метод вибродиагностирования технического состояния АД»).

Методы определения уровня вибраций и величин биения

Методы определения уровня вибраций. Для оценки вибрации электрических машин основной измеряемой величиной является эффективное значение вибрационной скорости V , которая определяется в диапазоне от рабочей частоты до 2000 Гц (ГОСТ 12379—75). В ряде случаев дополнительно требуется проведение спек-

трального анализа, а если в диапазон измерения входят частоты свыше 2000 Гц, то необходимо определять и вибрационное ускорение a (м/с^2).

При наличии данных по спектральному анализу эффективное значение вибрационной скорости (мм/с) можно определить по формуле:

$$V_3 = \sqrt{\sum_{i=1}^n V_{3i}^2}, \quad (2.31)$$

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 $V_0 = 5 \cdot 10^5 \text{ мм/с}$, а базовое значение вибрационного ускорения $a_0 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$. 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 испытуемых электрических машинах предусматривают места для установки измерительных датчиков, которые жестко крепятся к испытуемой электрической машине или к дополнительной массе. При этом масса датчиков не должна превышать 5 % массы электрической машины.

При определении вибраций рекомендуется применять упругую установку электрических машин. Если упругая установка машины невозможна, то допускается ее жесткая установка на фундаменте (при этом масса фундамента должна превышать массу испытуемой машины не менее чем в 10 раз). Машина должна устанавливаться в том положении, в котором она эксплуатируется. А если электрическая машина предназначена для работы в разных положениях, то 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 — в направлении, перпендикулярном установочной плоскости (для машины с лапами), u — горизонтальная ось для горизонтальных фланцевых машин.

Измерения вибрации производят при приемочных, периодических, типовых и приемо-сдаточных испытаниях. Вибрацию измеряют на подшипниковых щитах: по осям x , y , а также в направлении оси z (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 рис. П.9.1–П.9.3 (приложение 9) показаны точки измерения и направления вибраций для трех, наиболее распространенных форм исполнения и степеней защиты электрических машин.

Следует отметить, что спектральный анализ вибрации необходимо проводить в точке с максимальным значением вибрации.

Перед измерением вибраций электрические машины должны быть обкатаны. При этом 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, нагрузку 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.

Методы определения величины биения

В электрических машинах величина биения вращающихся частей регламентируется для: коллектора, контактных колец, свобод-

ных концов валов или насаженных на них шкивов, полумуфт и тому подобных деталей. Измерительным инструментом при этом служит стрелочный индикатор. Измерения проводят при медленном вращении измеряемой детали, чтобы исключить влияние на нее динамических сил.

Проверка величины биения коллектора обычно проводится в его холодном, и 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 настоящее время разработаны различные виды вибродиагностического оборудования (устройства вибродиагностирования, виброанализаторы, вибропреобразователи и т. п.). К примеру, устройство балансировочное электрических машин и механизмов УБ-3 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, находящихся в памяти приборов или компьютера.

Вопросы для самоконтроля

1. Сущность процесса вибродиагностирования.
2. Приборы и оборудование, используемые для вибродиагностики.
3. Системы измерения и анализа параметров вибрации.
4. Методы определения уровня вибраций и величины биения.

2.8. Современные методы диагностирования электрооборудования

Содержание

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.

Автоматизация испытаний электрических машин и применение ЭВМ

Эффективность автоматизации испытаний. В условиях производства (особенно серийного и массового) автоматизация производственного процесса, включает в себя и этап испытания электрических машин. Следует отметить, что трудоемкость контрольных операций составляет до 13 % трудоемкости изготовления электродвигателей. Средние нормы времени на проведение приемодаточных 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 приемодаточных испытаний одной машины составляют 0,6–4 ч, а на обработку приемочных испытаний — 40–90 ч [10]. Такая высокая трудоемкость проведения испытаний и обработки их результатов вызывает необходимость их автоматизации и использования ЭВМ.

Автоматизация испытаний электрических машин позволяет получить объективные и достоверные результаты испытаний, ускорить проведение контрольных измерений и повысить производительность труда.

Следует отметить, что 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 приемодаточных испытаний. Из всех видов электрических машин наибольшее распространение имеют асинхронные низковольтные двигатели. Поэтому, в первую очередь был автоматизирован процесс испытаний асинхронных двигателей.

Для этого были 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 ней расположены 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. Кроме того импульсным напряжением испытывается межвитковая изоляция. Производительность испытательной станции составляет 100–120 статоров в час.

Для проведения прямо-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:

- 1) контроль обрыва обмоток двигателя;
- 2) контроль сопротивления изоляции обмоток двигателя относительно корпуса и между обмотками;
- 3) обкатка двигателя при номинальном напряжении;
- 4) испытание межвитковой изоляции при напряжении $1,3 U_H$;
- 5) контроль тока и потерь холостого хода и короткого замыкания;
- 6) испытание изоляции обмоток на электрическую прочность относительно корпуса и между обмотками.

В процессе испытаний электродвигатели автоматически отбраковываются. Производительность станции составляет 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 виброопор 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 составляет от 85 тыс. до 200 тыс. электродвигателей в год.

Автоматизация приемочных и типовых испытаний. В настоящее время применяются автоматизированные установки для испытаний электрических машин с использованием ЭВМ. Блок-схема одной из установок, используемых для приемочных или периодических испытаний асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором малой мощности, приведена на рис. 2.10.

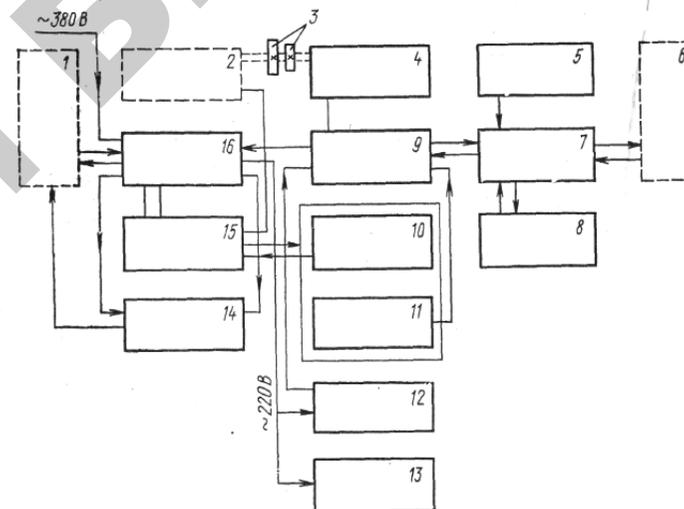


Рис. 2.10. Блок-схема установки для проведения приемочных или периодических испытаний асинхронных двигателей малой мощности с высотой оси вращения 50 мм: 1 — индукционный регулятор; 2 — испытуемый электродвигатель; 3 — маховые массы; 4 — преобразователь частоты вращения; 5 — фотосчитыватель; 6 — графопостроитель; 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

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 — 8520×3000×3400 мм.

Полученные на данном автоматическом испытательном конвейере результаты приемо-сдаточных испытаний могут анализироваться с помощью ЭВМ для управления технологическим процессом.

На установке автоматизированные испытания электродвигателя проводятся по следующей программе: измерение сопротивления обмоток; снятие механической и рабочей характеристик, а также характеристик короткого и 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.

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 в режиме короткого замыкания автоматически. Для проведения опыта холостого хода электродвигатель отсоединяют от маховых масс.

Электронно-вычислительная машина (ЭВМ) в соответствии с 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.

На рассмотренной автоматизированной установке, 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 двигателей мощностью (от 0,5 до 5,5 кВт).

Процесс автоматизации испытаний проводится в 2 этапа. Целью первого этапа является повышение точности определения характеристик электродвигателей и сокращение малопроизводительного труда. На этом этапе проводят испытания двигателей «на нагревание» и определяют сопротивления обмоток при постоянном токе

и в холодном состоянии, рабочие и механические характеристики, а также холостого хода, характеристики короткого замыкания и механическую вероятность безотказной работы.

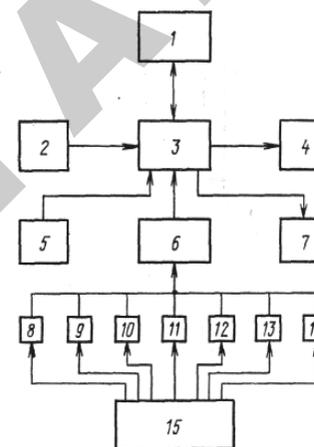


Рис. 2.11. Блок-схема автоматизированной станции для типовых, приемочных и периодических испытаний асинхронных двигателей от 0,5 до 5,5 кВт: 1 — диспетчерский пульт; 2 — алфавитно-цифровой дисплей; 3 — ЭВМ; 4 — печатающее устройство; 5 — устройство ввода с перфоленты; 6 — устройство сопряжения с объектом; 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 втором этапе операции снятия показаний приборов заменены обработкой информации на мини-ЭВМ (рис. 2.12). В качестве датчиков тока, напряжения, мощности активной и реактивной выбраны преобразователи типов Е-824, Е-827 и Е-849.

Для проведения испытаний электродвигателей на данной станции требуется только один оператор.

Система автоматизированных испытаний (АСИ) синхронных машин средней мощности (рис. 2.12) позволяет проводить испытания синхронных машин по специальной программе.

Для реализации АСИ разработаны алгоритмы и программы, 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 корот-

кого замыкания (в. к. з.), определение гармонических составляющих сложных периодических функций и другие.

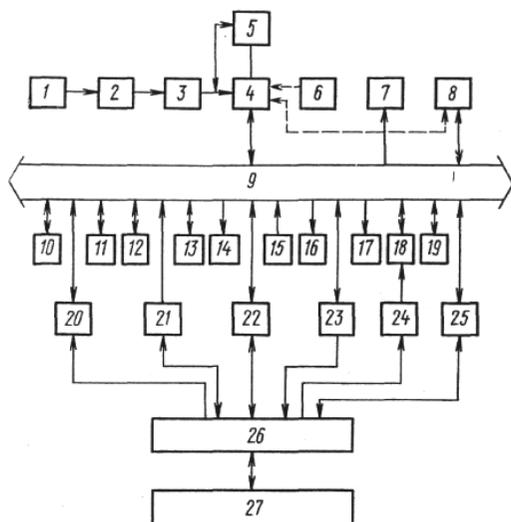


Рис. 2.12. Блок-схема АСИ синхронных машин средней мощности: 1 — накопитель на магнитных дисках (НМД); 2 — канал прямого доступа в память; 3 — основное оперативное запоминающее устройство (ОЗУ); 4 — процессор; 5 — диспетчер; 6 — дополнительное ОЗУ; 7 — графопостроитель (ГП); 8 — магнитограф; 9 — общая шина; 10 — дополнительный НМД; 11 — накопитель на магнитной ленте; 12 — алфавитно-цифropечатающее 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

Следует отметить, что аналогичные системы автоматизированных испытаний широко применяются в США, ФРГ, Великобритании и других странах.

Приборный учет и аппаратное обеспечение энергетических измерений

Приборный учет и аппаратное обеспечение диагностических измерений используется для получения информации, необходимой для оценки технического состояния энергетического оборудования, зданий и сооружений, а также эффективного использования энерге-

тических ресурсов. В данной процедуре определяются (непосредственно или косвенно) количественные и качественные значения состояния энергетического оборудования, 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, AGEMA-550 или термографа типа «Иртис-2000».

При проведении теплотехнических измерений используются приборы непосредственной оценки, где измеряемая величина определяется по отсчетному устройству измеряющего 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 на 2–5 % его номинального значения).

Преимуществом тепловизионного контроля является проведение испытаний объекта 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.

Так для измерения температуры, скоростей газовых и воздушных потоков используются соответственно хромель-копелевые термопары в защитных кожухах, стеклянные жидкостные термометры типа «ГЛ-4» и трубка Пито.

Для измерения 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».

Для измерения термо ЭДС используется автоматический цифровой прибор Digital Multimeter M-838, относительной влажности и температуры воздуха может быть использован цифровой прибор «Testo-635». Кроме того, инфракрасный термометр «Кельвин» применяют для бесконтактного экспресс-контроля температуры энергооборудования, технологических установок, электрических кабелей и т. п.

При диагностировании также используются следующие приборы:

а) многофункциональные:

1. «Testo-400» — для измерения температуры и скорости воздуха, давления, скорости вращения и всех параметров влажности;

2. «Testo-445» — для систем вентиляции и кондиционирования;
б) специального назначения:

1. «Testo-230/240» — для точного измерения pH;

2. «Testo-815/816» — для определения источника и уровня шума;

3. «Testo-545» — для измерения уровня освещенности;

4. «Testo-318» — для просмотра скрытых и труднодоступных мест;

5. «Testo-476» — как комплект оптический бесконтактный в виде стробоскопа и тахометра;

6. «Testo-512» — для измерения давления в системах вентиляции и др.

Для оперативного проведения энергетических обследований организаций и предприятий и обработки данных рекомендуются применять 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 «АЙВЕН» AMD ATHLON 3200/ASUS ASUS M2N-MX/DIMM 512MB PC5300/3,5" FDD SAMSUNG/DVD-RW NEC/SAM — 1 комп.;

16) ЖКИ монитор LGFLL 1952SBF Flatron L 1952S BF 19" — 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) ноутбук RH538EA HP Compaq nx 9420 T5600 17,0 1024/100 PC — 1 шт.;

21) видеокамера «Sony DRC-DVD205E» — 1 шт.

Устройство диагностирования технического состояния электродвигателей

В настоящее время для диагностирования асинхронных двигателей (АД) применяются простые приборы (индикаторы, мегомметры, токовые клещи и т. д.) и сложные измерительные комплексы (комбинированные многофункциональные аналоговые и цифровые приборы: тестеры, мультиметры) отечественные, зарубежные. С их помощью контролируют соответствующие параметры (мегомметром — сопротивление, ваттметром — мощность, вольтметром — напряжение и т. д.). Иногда для диагностирования асинхронных двигателей используются осциллографы, анализаторы и частотомеры, позволяющие осуществлять контроль параметров на более высоком качественном уровне.

Предлагаемые отечественными разработчиками новые приборы являются модернизацией более ранних разработок с целью улучшения их метрологических характеристик (повышения класса точности, быстродействия), а также введения дополнительных сервисных функций (программирования, оперативной памяти, мультиплексирования и т. д.). При этом разработанные приборы, как правило, имеют стационарное применение, и не являются универсальными. Кроме того, они сложны в эксплуатации и за счет высоких метрологических параметров имеют высокую стоимость.

В Республике Беларусь отсутствует система комплексного диагностирования технического состояния электродвигателей. Поэтому возникла необходимость создания автоматизированного устройства для оценки состояния АД, что позволило бы делать предложения о предотвращении отказов, восстановлении работоспособности и повышении срока службы АД.

Специалистами РУП «Институт энергетики АПК НАН Беларуси», ГУ «НИПТИ хлебопродукт» в 2004–2005 гг. такое устройство было разработано, изготовлено, и проведены его приемочные испытания. Технические характеристики этого устройства приведены в табл. 2.11, а функциональная схема — на рис. 2.13.

Таблица 2.11

Технические характеристики

Характеристики и единицы измерения	Значения
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,	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 5
Габариты, мм	
– длина	600
– ширина	500
– высота	200
Вид связи с ПЭВМ	K8232

При диагностировании АД в энергонезависимую память устройства измеряются и заносятся следующие параметры:

- 1) коэффициент искажения синусоидальности формы кривой напряжения K_U ;
- 2) коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$;
- 3) коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} ;
- 4) коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} ;
- 5) отклонение частоты Δf ;
- 6) активная мощность;

- 7) коэффициент мощности;
- 7) действующее значение фазных напряжений;
- 8) действующее значение фазных токов;
- 9) температура по каждому датчику;
- 10) частота вращения;
- 11) коэффициент мощности.

Дополнительными параметрами диагностирования АД являются сопротивление обмоток двигателя постоянному току и сопротивление изоляции. При этом снимается также форма кривой напряжения. Это необходимо для того, чтобы оценить исправность обмотки ротора АД.

После снятия диагностических параметров проводится их анализ.

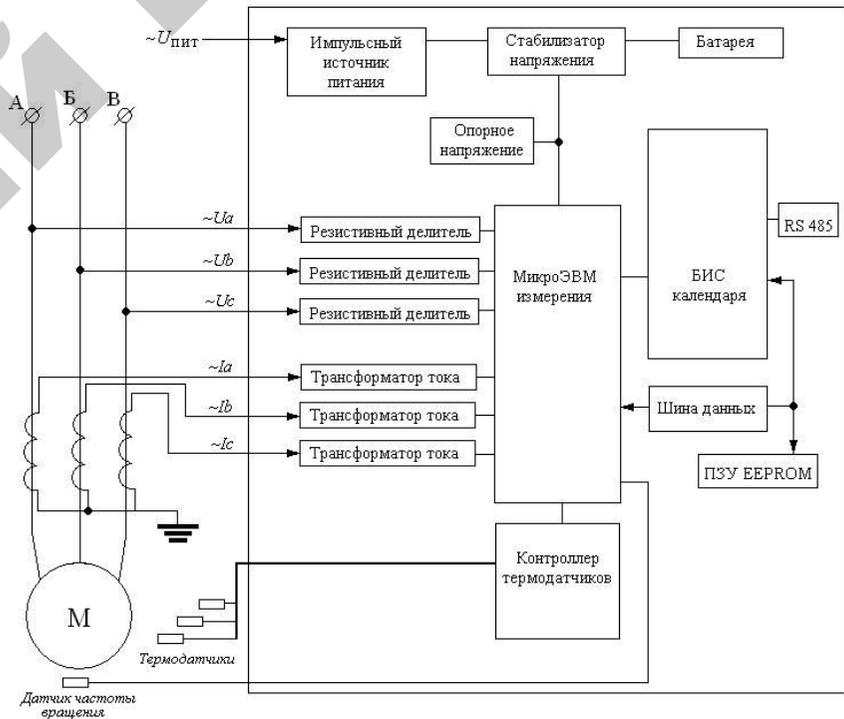


Рис. 2.13. Функциональная схема автоматизированного устройства диагностирования АД

Следует отметить, что для управления автоматизированным устройством диагностирования и обработки измеренных данных разработано соответствующее программное обеспечение.

Диагностирование качества электрической энергии

Основные требования к качеству электрической энергии изложены в ГОСТ 13109—97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Кроме того, существует документ РД 153-34.0-15.501-00 «Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», который устанавливает основные положения по контролю качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ 13109—97 и дополняет его.

При этом основополагающим документом является ГОСТ 13109—97, который введен в действие 01.01.99 вместе с приложениями А, Б, В, Г, Д. Документ определяет основные понятия, в частности качество электроэнергии (далее — КЭ), показатели и нормы КЭ, устанавливает требования к погрешностям измерений КЭ, разъясняет свойства электрической энергии, а также устанавливает наиболее вероятных виновных в нарушениях КЭ.

В приложении «Е» указаны основные требования к цифровым средствам измерения показателей качества электроэнергии (далее — регистратор ПКЭ или РПКЭ).

Согласно ГОСТ 13109—97 (п. 4.1) определены 11 следующих основных показателей качества электроэнергии:

- 1) установившееся отклонение напряжения δU_v , %;
- 2) размах изменения напряжения, δU_b , %;
- 3) доза фликера, отн. ед. (кратковременная, длительная), P_t ;
- 4) коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения $K_{ц}$, %;
- 5) коэффициент n -й гармонической составляющей напряжения $K_{ц}(n)$, %;
- 6) коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_{2ц}$, %;
- 7) коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0ц}$, %;
- 8) отклонение частоты Δf , Гц;
- 9) длительность провала напряжения $\Delta t_{п}$, с;
- 10) импульсное напряжение $U_{имп}$, кВ;
- 11) коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$, отн. ед.

Кроме того, при определении значений некоторых показателей КЭ используют следующие вспомогательные параметры электроэнергии:

- 1) частота повторения изменений напряжения $F_{\delta U_i}$;

- 2) интервал между изменениями напряжения $\Delta t_{i, i+1}$;
- 3) глубина провала напряжения $\delta U_{п}$;
- 4) частота появления провалов напряжения $F_{п}$;
- 5) длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{имп 0,5}$;
- 6) длительность временного перенапряжения $\Delta t_{перU}$.

Для мониторинга показателей качества электроэнергии разработаны различные приборы и метрологическое оборудование:

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, предназначенный для измерения основных показаний качества электроэнергии, мониторинга электрических сетей и аварийного осцилографирования.

3. Электромонитор 3.3Т, представляющий собой переносной эталонный счетчик, анализатор качества электрической энергии.

Из российских разработок следует отметить стационарный регистратор качества электроэнергии «Парма ПК 3.02» и многофункциональный прибор энергетика энерготестер ПЭМ-02 (г. Санкт-Петербург).

Прогнозирование технического состояния электрооборудования

Прогнозирование технического состояния электрооборудования, т. е. предсказание изменения его параметров в будущем, является трудной задачей. Это связано с тем, что на техническое состояние даже однотипных деталей и узлов электрооборудования влияет большое количество факторов, часть которых трудно учесть, что соответственно приводит к старению и износу этого оборудования. Основной задачей прогнозирования является определение остаточного ресурса элементов электрооборудования. Определение их остаточного ресурса позволяет объективно установить момент необходимости ремонтного воздействия для 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 определение с заданной вероятностью интервала времени (ресурса), 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 коэффициентом 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:

$$k_{\text{ост}} = \frac{P_n - P_{\text{и}}}{P_n - P_n}, \quad (2.32)$$

где P_n — предельное значение параметра;

P_n — номинальное значение параметра;

$P_{\text{и}}$ — измеренное значение параметра.

Если в процессе эксплуатации оборудования значение параметра уменьшается, то коэффициент остаточного ресурса определяется по формуле:

$$k_{\text{ост}} = \frac{P_n - P_{\text{и}}}{P_n - P_n}. \quad (2.33)$$

Для нового элемента узла или машины $k_{\text{ост}} = 1$, а для элемента, который полностью исчерпал свой 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. Наиболее простые методы прогнозирования, которые используют при прогнозировании ресурса работы электрооборудования и не требуют применения сложного математического аппарата, приведены ниже.

Метод линейного прогнозирования

Метод линейного прогнозирования является самым простым, поскольку его основой является допущение, что в процессе эксплуатации внешние воздействия на диагностируемый элемент (узел, машину или аппарат) остаются неизменными, а зависимость изменения величины диагностического параметра от времени является линей-

ной. 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:

$$t_{\text{ост}} = t \frac{k_{\text{ост}}}{1 - k_{\text{ост}}}, \quad (2.34)$$

где t — наработка от начала эксплуатации до момента диагностирования, ч;

$k_{\text{ост}}$ — коэффициент остаточного ресурса, определяемый из (2.32) и (2.33).

Данный метод обычно применяют для ориентировочного определения остаточного ресурса деталей и узлов.

Метод многоступенчатого линейного прогнозирования

Метод базируется на данных измерений, проводимых при систематических диагностированиях оборудования через некоторые 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 конкретных условиях эксплуатации. Кроме того, при прогнозировании на период до следующего диагностирования принимается как данность то, 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 величину периода безотказной работы всегда получают меньше действительного, т. е. всегда резервируется определенный запас надежности результатов прогноза.

Гарантированный ресурс безотказной работы деталей узлов и сопряжений, техническое состояние которых характеризуется параметрами, имеющими линейные или криволинейные зависимости от времени работы, определяется по формуле:

$$t_{\text{гар}} = \frac{\Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и}}}{\Pi_{\text{и}} - \Pi_{\text{и-1}}} \cdot t_0 \cdot k_0, \quad (2.35)$$

где $t_{\text{гар}}$ — гарантированный ресурс безотказной работы, единице наработки;

$\Pi_{\text{н}}$ — предельное значение параметра;

$\Pi_{\text{и}}$, $\Pi_{\text{и-1}}$ — измеренная величина параметра (соответственно при данном и предыдущем диагностировании);

t_0 — период между данным и предыдущим диагностированиями;

k_0 — корректирующий коэффициент.

При этом:

$$k_0 = \frac{\Pi_{\text{и-1}}}{\Pi_{\text{и}}},$$

а если диагностический параметр увеличивается со временем, то

$$k_0 = \frac{\Pi_{\text{нач}} + \Pi_{\text{н}} - \Pi_{\text{и-1}}}{\Pi_{\text{нач}}}, \quad (2.36)$$

где $\Pi_{\text{нач}}$ — начальное значение параметра, если диагностируемые параметры уменьшаются со временем.

Вопросы для самоконтроля

1. Принципы автоматизированного диагностирования электрооборудования.
2. Приборы и аппараты для диагностических измерений параметров электрооборудования.
3. Средства дистанционного измерения температуры.
4. Диагностирование качества электрической энергии.
5. Методы прогнозирования технического состояния электрооборудования.

МАТЕРИАЛЫ К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ

Лабораторная работа 1

Способы диагностирования и определения увлажненности изоляции электрооборудования

Цель работы: изучить способы диагностирования и определения увлажненности изоляции электрооборудования, приобрести практические навыки работы с диагностическими приборами.

План работы:

1. Подготовка прибора для диагностирования изоляции электрооборудования.
2. Определение различными способами местных дефектов изоляции.
3. Подготовка прибора для определения увлажненности изоляции электрооборудования.
4. Освоение методики определения увлажненности изоляции электрооборудования различными способами.

Рекомендации по выполнению лабораторной работы

Теоретическая часть

При испытании изоляции по току сквозной проводимости изоляцию считают исправной, если:

- 1) при повышении напряжения не наблюдают бросков тока;
- 2) ток утечки при напряжении 1800 В не превышает 95 мкА для одной фазы;
- 3) относительное приращение токов составляет не более 0,9, а коэффициент несимметрии токов утечки фаз не превышает 1,8.

Определение местных дефектов изоляции **по частичным разрядам** проводят следующим образом: на изоляцию подают повышенное напряжение, а приемным колебательным контуром или антенной ИЧР (индикатор частичных разрядов) исследуют пространство вокруг изо-

ляционной системы. При этом измерительный прибор ИЧР позволяет зафиксировать высокочастотные колебания и выявить место, где они имеют наибольшую амплитуду. Как правило, это место совпадает с местным дефектом (расслоение, трещиной и т. д.).

Тангенсом угла диэлектрических потерь называется соотношение активной составляющей тока I_a , протекающего через изоляцию и при приложении к ней переменного напряжения, к его емкостной составляющей. Тогда

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c}, \quad \delta = 90 - \varphi. \quad (2.37)$$

Из рис. 2.14 видно, что активная составляющая полного тока I_a состоит из тока сквозной проводимости $I_{скв}$ и активной составляющей тока абсорбции прибором $I_{абс}$. Емкостная составляющая тока I_a равна сумме тока смещения $I_{см}$ и емкостной составляющей тока абсорбции $I_{абс}$. Как видно из диаграммы потери в изоляции создаются, в основном, током абсорбции, активная составляющая $I_{абс}$ которого больше тока сквозной проводимости $I_{скв}$.

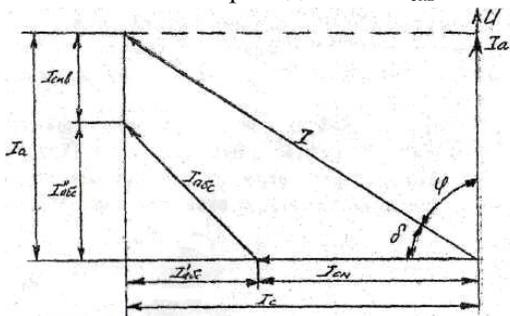


Рис. 2.14. Векторная диаграмма токов в диэлектрике

Увлажнение и загрязнение изоляции вызывают увеличение активной составляющей тока I_a и вместе с тем увеличение тангенса угла диэлектрических потерь. Показатель $\operatorname{tg} \delta$ очень чувствителен к изменению качества изоляции, и потому, измеряя его, контролируют состояние изоляция электрических машин и другого электрооборудования.

Диагностирование увлажненности изоляции электрооборудования по коэффициенту абсорбции состоит в измерении мегомметром (Ф-4102, МПТ 330) ее сопротивления в момент T_1 и T_2 ($T_1 < T_2$) после подачи напряжения и определения отношения $\frac{R_{T1}}{R_{T2}}$, называемого ко-

эффициентом абсорбции. Обычно принимают $T_1 = 15$ с, $T_2 = 60$ с, и рассматривают $\frac{R_{60}}{R_{15}}$. Если $\frac{R_{60}}{R_{15}} > 1,3$, то изоляцию считают сухой,

если $\frac{R_{60}}{R_{15}} < 1,3$ — увлажненной.

Диагностирование увлажненности изоляции электрооборудования способом «емкость-частота» состоит в измерении емкости изоляции при частоте f_1 и f_2 ($f_1 < f_2$) и определения отношения $\frac{C_{f1}}{C_{f2}}$. Обычно при-

нимают $f_1 = 2$ Гц, $f_2 = 50$ Гц и измеряют соответственно C_2 и C_{50} . Если $\frac{C_2}{C_{50}} < 1,2$, то изоляцию считают сухой, если $\frac{C_2}{C_{50}} > 1,2$ — увлажненной.

Диагностирование увлажненности изоляции электрооборудования способом «емкость-температура» состоит в измерении емкости изоляции при температуре $t_1 = 20$ °С, $t_2 = 70$ °С и измеряют соответственно C_{20} и C_{70} . Если $\frac{C_{70}}{C_{20}} < 1,3$, то изоляцию считают сухой, если

$\frac{C_{70}}{C_{20}} > 1,3$ — увлажненной.

Тестер МПТ 330 предназначен для измерения сопротивления изоляции и напряжения цепи (рис. 2.15).

Тестер МПТ 330 имеет дополнительную функцию сохранять результаты тестов на внешние носители. Результаты больше чем 1000 тестов могут быть сохранены в памяти тестера (затем их можно скопировать на компьютер). Тестер сохраняет информацию в выключенном состоянии и при полностью разряженных аккумуляторах.

Тестер позволяет задавать конкретный номер испытаний для разных параметров измерений. В этой связи один тестер может быть использован сразу на нескольких объектах, после чего результаты легко сортируются при их записи на компьютер. Индикатор памяти работает по принципу указателя уровня топлива в машине, отображая объем занятой памяти.

Результаты тестов сохраняются в виде электронных таблиц формата CSV (значения, разделенные запятыми) и могут вводиться в Microsoft Excel. Для получения технических отчетов и сертификатов, результаты можно сразу записать в программу Megger Powersuite Professional, обладающую набором инструментов для создания профессионально составленной документации.



Рис. 2.15. Тестер изоляции и целостности цепи MIT 330

Диапазон измерения сопротивления составляет от 10 Ом до 1 МОм.

Практическая часть

Измерения проводятся для различных видов электрооборудования (электродвигатели, пускозащитная аппаратура и др.).

Определение местных дефектов изоляции электрооборудования по **току сквозной проводимости** проводят в следующей последовательности: 1) подключают через микроамперметр обмотку одной из фаз к регулируемому источнику переменного напряжения; 2) плавно увеличивают напряжение до 1200 В и фиксируют ток утечки; 3) повышают напряжение до 1800 В и фиксируют ток утечки; 4) измерения проводят для остальных фаз; 5) результаты заносят в табл. 2.12. По полученным результатам следует построить график зависимости $I=f(U)$.

Таблица 2.12

Значения тока, А	Значения U, В					
	1200	1300	1400	1500	1600	1700
I_{A_2} , А						
I_{B_2} , А						
I_{C_2} , А						

Используя паспорт прибора E7-8, необходимо изучить устройство, принцип действия, характеристики и порядок работы с данными приборами.

Прибором E7-8 следует измерить $\text{tg } \delta$ изоляции различных видов электрооборудования. При этом результаты заносят в табл. 2.13.

Порядок измерения $\text{tg } \delta$ с помощью прибора E7-8

1. Включить тумблер «сеть» и прогреть прибор в течение 1 минуты.
2. Установить переключатель «запуск» и положение «следящий».
3. Установить переключатель «вид намерений» в соответствующее положение.
4. Установить переключить «знак C, L» в положение «АВТ».
5. Выводы соединительного кабеля прибора присоединить к выводам измеряемого объекта.
6. Полученное значение $\text{tg } \delta$ записать в табл. 2.13.

Примечание. Прибор не должен работать более 5 минут.

Используя паспорта приборов Ф-4102, необходимо изучить устройство, принцип действия, характеристики и порядок работы с данными приборами. Прибором М-4100/3, Ф-4102 или другим аналогичным прибором следует замерить сопротивление изоляции различных видов электрооборудования и рассчитать коэффициент абсорбции. Результаты измерения заносятся в табл. 2.14. По полученным данным следует построить график зависимости $R=f(T)$ и сделать вывод о состоянии (увлажненности) изоляции.

Таблица 2.13

Результаты измерений

Точки подключения	Показатели		
	$\text{tg } \delta$	δ	φ
L1-N			
L2-N			
L3-N			

Следует отметить, что значение $\text{tg } \delta$ должно находиться в пределах от 0,005 до 0,1. Если значение $\text{tg } \delta$ не входит в указанные пределы, то изоляцию нельзя считать исправной и пригодной к эксплуатации.

Порядок работы с мегомметром Ф-4102

1. Подключить прибор к сети ($U = 220$ В).
2. При разомкнутых контактах «←» и «r_x» нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1» и ручкой «УСТАН. ∞» установить стрелку прибора на «∞».
3. Замкнуть контакты «←» и «r_x» между собой, нажать кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ 1» и ручкой «УСТАН. 0» установить стрелку прибора на «0».
4. Установить «ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ» на заданное значение.

5. Подключить испытываемое электрооборудование к мегомметру и произвести измерение сопротивления нажатием кнопки «ИЗМЕРЕНИЕ 1».

6. Значение, на которое указывает стрелка прибора на 1 шкале умножить на коэффициент соответствующий заданному напряжению. Полученное значение и есть искомое сопротивление.

Таблица 2.14

Результаты измерений

Точки подключения	Показатели		
	$R_{15}, \text{МОм}$	$R_{60}, \text{МОм}$	$K_{абс}$
L1-N			
L2-N			
L3-N			
L2-L1			
L3-L1			
L3-L2			

Содержание отчета

Цель и план работы. Результаты измерений, графики и анализ полученных результатов.

Схемы подключения различных диагностических приборов и их основные технические характеристики.

Вопросы для самоконтроля

1. Классификация изоляции электрооборудования по видам и типам.
2. Требования по механической прочности, предъявляемые к изоляции электрооборудования.
3. Требования по нагревостойкости, предъявляемые к изоляции электрооборудования.
4. Достоинства и недостатки различных видов изоляции электрооборудования.
5. Способы диагностирования изоляции электрооборудования.
6. Устройство и принцип действия приборов, применяемых для диагностирования изоляции электрооборудования.
7. Способы определения увлажненности изоляции электрооборудования.
8. Влаго- и теплообмен в изоляции электродвигателя.
9. Влаго- и теплообмен в изоляции силовых трансформаторов.

Примеры разноуровневых заданий для контроля знаний

Задания 1-го уровня

1. Параметры прибора Е7-8. Способы определения местных дефектов изоляции.

2. Параметры прибора Ф-4102. Диагностирование изоляции способом «емкость-температура».

Задания 2-го уровня

1. Определение понятия «тангенс угла диэлектрических потерь». Методика диагностирования изоляции по тангенсу угла диэлектрических потерь.

2. Привести схему для определения сквозного тока изоляции.

Лабораторная работа 2

Способы диагностирования электрических контактов

Цель работы: изучить способы диагностирования электрических контактов и приобрести практические навыки работы с диагностическими приборами.

План работы:

1. Приборы, применяемые для диагностирования электрических контактов.
2. Измерить переходное сопротивление электрических контактов и определить зависимость переходного сопротивления от усилия сжатия.
3. Определить площадь соприкосновения электрических контактов и сделать вывод об их работоспособности.
4. Измерить зазоры (растворы) и провалы в электрических контактах.

Рекомендации по выполнению лабораторной работы

Теоретическая часть

Важной частью коммутационного аппарата являются электрические контакты. В коммутационных аппаратах применяют мостиковые, врубные и пальцевые контакты, которые рассчитаны на большие номинальные токи. Контакты с плоскими пружинами, прежде всего, применяются в других аппаратах (например, в реле).

Аппарат может содержать одну или несколько пар контактов. Один контакт из пары установлен неподвижно, второй является

подвижным. Контактующая поверхность — это поверхность, где соприкасаются подвижные и неподвижные контакты, которые бывают точечными, плоскостными или линейными.

Контакты, которые используются для работы при небольшой силе тока, изготавливаются из серебра, вольфрама или сплавов этих металлов. Для экономии дорогостоящих металлов (медь и серебро) контакты изготавливают биметаллические, также производят металлокерамические контакты, которые обладают высокой износостойкостью.

Переходным сопротивлением контакта называют дополнительное сопротивление в месте перехода тока из одной контактной поверхности в другую, обусловленное сужением площади сечения контакта в неровностях поверхности, а также сопротивлением газовых и масляных пленок, пыли и других веществ.

Значение переходного сопротивления зависит от многих факторов (микрорельеф, усилие сжатия и материал контактной поверхности, состояние поверхности контактирования и др.).

На величину переходного сопротивления контактов может влиять величина протекающего через него тока (рис. 2.16), и это связано с повышением пластичности материала контактов при увеличении их нагрева током.

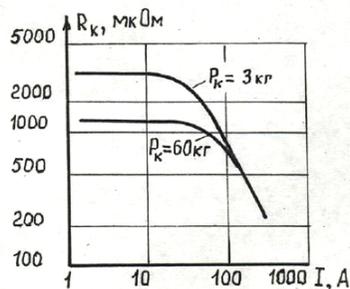


Рис. 2.16. Зависимость переходного сопротивления контактов от тока при разных давлениях

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

Следует измерить (штангенциркулем или другим измерительным прибором) площадь соприкосновения контактов и сделать вывод об их работоспособности.

Расвором (зазором) контактов называют наибольшее расстояние L_p (рис. 2.17.а) между поверхностями соприкосновения при разомкнутом состоянии контактов. В зависимости от типа аппарата эта величина может составлять от 3 до 50 мм.

Провалом контактов называют расстояние L_n (рис. 2.17.б), на которое перемещается подвижный контакт, не теряя соприкосновения с неподвижным контактом при замыкании или размыкании цепи. Для низковольтных аппаратов провал составляет 3–6 мм.

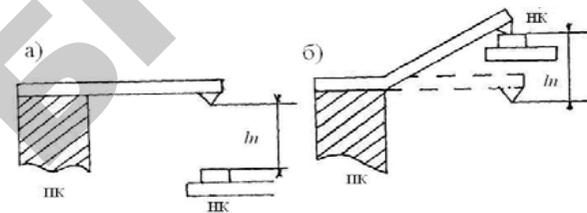


Рис. 2.17. Определение раствора (а) и провала (б) между неподвижным и подвижным контактами

Величина допустимой одновременности включения контактов деталей определяется, как правило, в миллиметрах. Эти данные получают экспериментальным путем.

Практическая часть

В качестве исследуемых объектов в лабораторной работе используются: автоматические выключатели, магнитные пускатели, светильники и электродвигатели разных типов. Для имеющегося оборудования следует (по указанию преподавателя) определить виды электрических контактов и записать результаты исследований в форме табл. 2.15.

Таблица 2.15

Результаты диагностирования контактов

Наименование электрооборудования	Виды имеющихся контактов	Диагностические параметры					
		$R_{кр}$ мкОм	ΔU_p мВ	I_n , А	L_n , мм	$R_{кр}$, мкОм	ΔU_p , мВ

Примечание. $R_{кр}$ — расчетное значение переходного сопротивления. Для каждого из измеренных значений следует указать в скобках его допустимую величину.

При этом переходное сопротивление электрического контакта, (Ом) определяется по формуле:

$$R_{кр} = \frac{K_1}{(0,1 F_k)^m} K_T,$$

где K_1 — коэффициент, зависящий от материала контактирующих деталей;

F_k — усилие сжатия 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;

В свою очередь этот коэффициент определяется по формуле:

$$K_T = 1 + 0,67 \cdot \alpha(t - 20);$$

где 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 различных материалов 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.

Следует изучить паспорт микроомметра, имеющегося в лаборатории, и записать его технические характеристики в отчет. Произвести измерения переходных сопротивлений контактов с оформлением результатов в форме табл. 2.15. Сравнить измеренное значение с расчетным и допустимым значениями и сделать выводы.

Для измерения падения напряжения на контактах ПЗА используется схема, приведенная на рис. 2.18.

Указанная схема собирается на лабораторном стенде (милливольтметр подключается отдельно). Сопротивление ограничивающего резистора должно быть не менее 100 Ом.

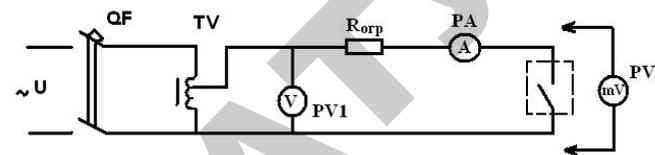


Рис. 2.18. Схема для измерения падения напряжения на контактах

При помощи автотрансформатора следует установить значение силы тока в цепи $I_n = 2\text{А}$ и произвести измерение падения напряжения на контакте милливольтметром. Точки подключения прибора — те же, что использовались при измерении переходного сопротивления. Результаты измерения надо записать в табл. 2.15. Пересчет измеренной величины падения напряжения ΔU_n на номинальную производится по формуле:

$$\Delta U_n = \Delta U_n \frac{I_n}{I_n},$$

где I_n — номинальный ток контакта, А (указан в маркировке аппарата).

Затем следует записать значение ΔU_n в табл. 2.15 и сравнить с допустимыми значениями, сделать выводы.

Измерения падения напряжения на контактах светильников, электродвигателей и другого оборудования надо произвести по указанию преподавателя после сборки схемы их включения (составляется самостоятельно), ее проверки и подачи на нее напряжения. Результаты записываются в табличной форме (табл. 2.15).

Электрическое сопротивление измеряется между определенными точками на участках (L), условно приравненных к длине электрического контактного соединения. Для других случаев точки измерения устанавливаются по ходу прохождения тока (рис. 2.19).

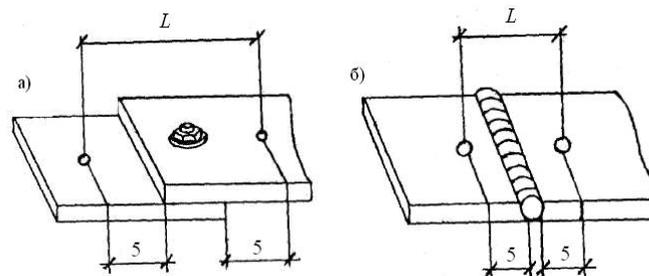


Рис. 2.19. Места измерения электрического сопротивления разборных и неразборных контактных соединений: (а) шин болтами; (б) шин сваркой

Сопротивление электрических контактных соединений измеряют при температуре окружающей среды $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если измерения выполняют при других температурах, то полученные сопротивления приводят к расчетной температуре. Значение переходного сопротивления зависит от многих факторов: усилия сжатия, материала контактной поверхности и др.

Измерить растворы в различных пускозащитных аппаратах с помощью щупа, результаты записать в табл. 2.15 и сделать вывод о работоспособности этих аппаратов.

Содержание отчета

Результаты измерения и анализ полученных результатов. Схемы подключения приборов и основные технические характеристики.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение электрического контакта.
2. Классификация электрических контактов по назначению.
3. Классификация электрических контактов по конструкционному исполнению.
4. Требования, предъявляемые к электротехническим материалам, из которых изготавливают электрические контакты.
5. Зависимость переходного сопротивления от усилия сжатия.
6. Устройство и принцип действия приборов, применяемых для диагностирования электрических контактов.
7. Порядок работы с диагностическими приборами.

Примеры разноуровневых заданий для контроля знаний

Задания 1-го уровня

1. Что называется зазором контактов, и какой бывает эта величина в зависимости от типа аппарата?
2. Что такое провал контактов, и какой бывает провал для низковольтных аппаратов?

Задания 2-го уровня

1. Запишите формулу для переходного сопротивления контактов?
2. Расскажите подробно о площади соприкосновения контактов.

Лабораторная работа 3

Диагностирование электротермического и светотехнического оборудования

Цель работы: изучить способы диагностирования электротермического и светотехнического оборудования и приобрести практические навыки проведения диагностирования.

План работы:

1. Освоить методы диагностирования электротермического оборудования.
2. Освоить методы диагностирования светотехнического оборудования.
3. Нарисовать план помещения с размещением светильников и контрольных точек, результаты измерений и вычислений.

Рекомендации по выполнению лабораторной работы

Теоретическая часть

Основными видами *электротермического оборудования*, используемого в сельскохозяйственном производстве, являются элементные электронагреватели (емкостные и проточные) и электрокалориферы. Основными параметрами, характеризующими состояние электротермического оборудования, являются температура нагрева воды (воздуха), переходное сопротивление контакта заземления корпуса (не более $0,1\text{ Ом}$), сопротивление изоляции ТЭНов (не менее 1 МОм) и питающего кабеля (не менее $0,5\text{ МОм}$), сопротивление спирали ТЭНов (не должно превышать величину сопротивления в момент поставки более чем на 20%). В работе будут рассмотрены только элементные водонагреватели.

Параметры электротермического оборудования, диагностируемые при техническом обслуживании:

1. Сопротивление изоляции.
2. Температура воздуха на выходе.
3. Потребляемый ток.
4. Переходное сопротивление между корпусом и шиной контура заземления.

Параметры электротермического оборудования при плановом диагностировании:

1. Сопротивление элементов.
2. Сопротивление изоляции элементов.

1	2	3	4
R_T			
$R_{ПК}$			
$R_{СТ}$			

3. Ток, потребляемый элементами.

4. Температура срабатывания регулятора.

Параметры электротермического оборудования, диагностируемые при текущем ремонте:

1. Сопротивление элементов.

2. Сопротивление изоляции.

3. Температура срабатывания регулятора.

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

В осветительных и облучательных приборах с газоразрядными лампами следует также диагностировать пускорегулирующую аппаратуру (ПРА). Диагностирование ПРА заключается в том, что на стенде собирается схема включения с заведомо исправной лампой и стартером (в случае электромагнитного ПРА). Если при включении в схему диагностируемого ПРА лампа загорается и стабильно работает, обеспечивая требуемый световой поток, то ПРА считается исправным. В противном случае необходимо проводить дополнительные испытания.

Практическая часть

Провести диагностирование электротермического оборудования (по указанию преподавателя). Произвести внешний осмотр оборудования с целью обнаружения его дефектов или повреждений. С помощью мегомметра измерить сопротивление изоляции питающего кабеля и нагревательных элементов. Измерить сопротивление спирали ТЭНа омметром или комбинированным прибором. Результаты измерений записать в отчет. Сделать вывод о техническом состоянии электротермического оборудования. Результаты записать в табличной форме (табл. 2.16).

Таблица 2.16

Результаты диагностирования электротермического оборудования

Диагностические параметры	Элементные электроводонагреватели		Электрокалориферы
	Емкостные	Проточные	
1	2	3	4
$t_{н.в}^{\circ}$			
$R_{з.к}$			

Диагностическими параметрами являются следующие:

1) $t_{н.в}^{\circ}$ — температура нагрева воды (воздуха);

2) $R_{з.к}$ — переходное сопротивление контакта заземления корпуса;

3) R_T — сопротивление изоляции ТЭНов;

4) $R_{ПК}$ — сопротивление изоляции питающего кабеля;

5) $R_{СТ}$ — сопротивление спирали ТЭНов.

При этом $t_{н.в}^{\circ}$ должна соответствовать установленной на регуляторе величине (с учетом погрешности регулятора).

Провести диагностирование светотехнического оборудования лаборатории (осветительной установки) на основании величины светового потока источников света.

Для измерения светового потока используется **люксметр Ю-116**. Изучить устройство и методику работы с прибором по прилагаемой инструкции. Составить в отчете план помещения лаборатории с указанием рядов светильников. Наметить на плане не менее 3 контрольных точек, в которых будут производиться измерения освещенности. Провести в указанных точках измерение естественной освещенности (при выключенном освещении). Результаты записать в табличной форме (табл. 2.17).

Далее следует включить освещение и измерить в указанных точках общую освещенность (естественную и искусственную), результаты измерений записать в таблицу. Вычислить искусственную освещенность в каждой точке $E_3 = E_2 - E_1$ и средние значения E_1, E_2, E_3 . Результаты вычислений занести в табл. 2.17.

Таблица 2.17

Результаты измерений и вычислений

Номер точки	Естественная освещенность E_1 , лк	Общая освещенность E_2 , лк	Искусственная освещенность E_3 , лк
1			
2			
3			
Среднее значение			

Затем необходимо определить световой поток источников света по формуле:

$$\Phi = \frac{E_{зсп} \cdot S \cdot z}{N_1 \cdot N \cdot \eta}, \quad (3.1)$$

где S — площадь помещения, m^2 ;

z — коэффициент минимальной освещенности ($z = 1,1$);

N_1 — число ламп в светильнике, шт.;

N — общее число светильников в помещении, шт.;

η — коэффициент использования светового потока ($\eta = 0,4$).

После этого следует определить процент снижения светового потока по формуле:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi}{\Phi_0} - 100, \quad (3.2)$$

где Φ_0 — начальный световой поток ($\Phi_0 = 3000$ лм).

Допускается снижение светового потока в данном помещении до 20 % от первоначального значения.

Для диагностирования ПРА схема составляется самостоятельно и собирается на стенде. Результаты диагностирования записываются в табличной форме (табл. 2.18).

Таблица 2.18

Результаты диагностирования осветительных приборов

Диагностические параметры	Тип светильника			
	ЛСП	НСП	РКУ	ФБУ
Световой поток, лм				
Сопротивление изоляции, Ом				
Состояние ПРА				

Содержание отчета

Результаты диагностирования электротермического оборудования. Краткие сведения о люксметре Ю-116 (со схемой прибора). План помещения с размещением светильников и контрольных точек, результаты измерений и вычислений, выводы о пригодности светотехнического и электротермического оборудования для эксплуатации.

Вопросы для самоконтроля

1. Основные виды сельскохозяйственного электротермического оборудования и их характеристика.
2. Основные виды сельскохозяйственного светотехнического оборудования и их характеристика.
3. Устройство люксметра Ю-116 и принцип его работы. Методика измерения освещенности.

Примеры разноуровневых заданий для контроля знаний

Задания 1-го уровня

1. Основные параметры люксметра Ю-116.
2. Формула для определения светового потока.

Задания 2-го уровня

1. Определение процента снижения светового потока.
2. Методика измерения освещенности.

Лабораторная работа 4

Диагностирование пускозащитной аппаратуры после ремонта

Цель работы: исследовать времятоковые зависимости теплового реле ТРН-10 и автоматического выключателя, а также характеристики магнитного пускателя ПМЛ с целью диагностирования.

План работы:

1. Изучить тепловое реле и магнитный пускатель.
2. Измерить время срабатывания теплового реле.
3. Измерить сопротивление, ток, напряжение и мощность на катушке магнитно пускателя.

Рекомендации по выполнению лабораторной работы

Теоретическая часть

Тепловое реле применяют для защиты электродвигателя от небольших длительных перегрузок, при которых может возникнуть опасность разрушения изоляции электрооборудования. Тепло-

вое реле также защищает двигатель переменного тока при обрыве одного из проводов питающей линии, поскольку в этом случае ток в двух неповрежденных фазах становится больше номинального. Из-за этого нагревательные элементы теплового реле включают в две фазы электродвигателя переменного тока. Главным элементом теплового реле является биметаллическая пластинка, состоящая из двух сваренных между собой пластинок металлов с различными коэффициентами температурного линейного расширения. При увеличении тока пластинка нагревается и изгибается в сторону пластинки, материал которой имеет меньший температурный коэффициент. Нагрев происходит при прохождении тока через нагревательный элемент, расположенный вблизи биметаллической пластинки или непосредственно через саму пластинку. При определенной температуре нагрева, которая зависит от тока и времени нагрева (рис. 2.20), деформация биметаллической пластинки достигает достаточной величины для перемещения подвижной контактной системы. Это приводит к разрыву в электрической цепи управления, и электродвигатель отключается от сети.

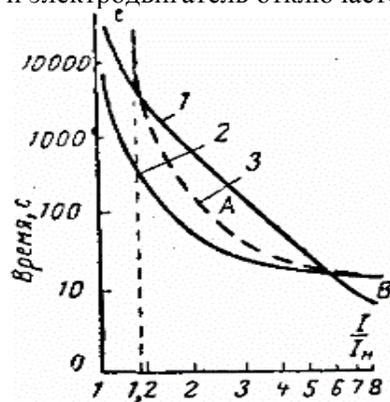


Рис. 2.20. Времятоковая характеристика теплового реле

Тепловое реле не защищает электродвигатель от токов короткого замыкания в связи с большой тепловой инертностью биметаллической пластинки. Тепловые реле выпускаются на различные токи уставки срабатывания и могут иметь возможность плавной регулировки с помощью регулировочного винта, который меняет положение упорной планки, и, как следствие, необходимый для срабатывания реле угол изгиба биметаллической пластинки. Чем выше ток перегрузки, тем быстрее срабатывает реле.

Магнитный пускатель — электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты электрических двигателей и коммутации других силовых цепей. Обычно магнитные пускатели используют для дистанционного управления электродвигателем.

Магнитный пускатель, который позволяет включать электродвигатель лишь в одном направлении вращения, называется *нереверсивным*. В конструктивном отношении пускатель является электрическим аппаратом, контакты которого удерживаются в замкнутом состоянии с помощью электромагнита и размыкаются при исчезновении или понижении напряжения на зажимах обмотки пускателя.

Нереверсивные магнитные пускатели ПМЕ-112, ПМЕ-122, ПМЕ-132, ПМЕ-212, ПМЕ-222, ПМЕ-232 и другие имеют тепловое реле ТРН-10, которое обеспечивает защиту электродвигателя от тока перегрузки, а нереверсивные пускатели ПМЕ-Ш, ПМЕ-121, ПМЕ-131, ПМЕ-211, ПМЕ-221, ПМЕ-231 внутренних соединений и тепловых реле не имеют.

Тип магнитного пускателя обозначают сочетанием букв и цифр. Буквы указывают на серию магнитного пускателя. Цифровая маркировка пускателя означает следующее: первая цифра — габарит, вторая — исполнение (открытое — цифра 1, а защищенное — 2), третья — наличие (или отсутствие) возможности реверса (изменение направления вращения) и наличие теплового реле (на нереверсивный — указывает цифра 1 или 2, на реверсивный — 3).

Магнитный пускатель выбирают, исходя из номинального тока, номинального напряжения и условий эксплуатации, а также из необходимости реверсирования и тепловой защиты.

Диагностирование магнитных пускателей осуществляется при ТО и ТР, в плановом порядке.

Практическая часть

При исследовании теплового реле определяется сопротивление нагревательного элемента и визуально оценивается состояние контактов реле. Для определения токов срабатывания реле и их настройки собирается схема (рис. 2.21.) С помощью ЛАТРа устанавливается ток, протекающий через нагревательный элемент. Определяется ток срабатывания реле и возможность его регулировки.

Студенту следует смонтировать монтажную схему, приведенную на рис. 2.22. По заданию преподавателя схема может быть дополнена аппаратами сигнализации и автоматики. Например, под-

ключение трансформатора произвести через контакты магнитного пускателя КМ1, управление пускателем от кнопочного поста осуществляется через блокировочный контакт пускателя КМ2, катушка которого подключается к сети управляющим контактом теплового реле, а дополнительные контакты пускателя КМ2 подключают аппаратуру сигнализации (сигнальную лампу, звонок).

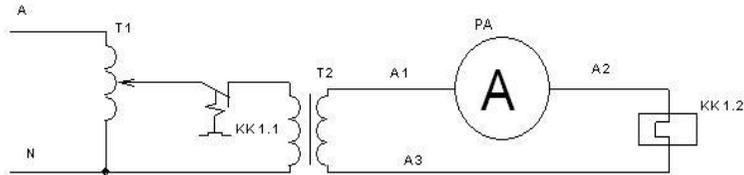


Рис. 2.21. Схема определения токов срабатывания реле и его настройки

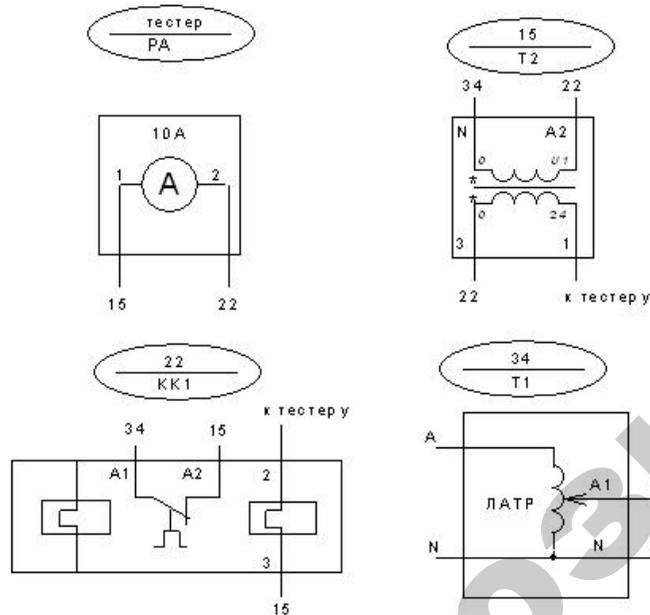


Рис. 2.22. Монтажная схема для исследований теплового реле

Затем необходимо проверить правильность монтажа при помощи тестера. Перед подключением стенда к сети следует вывести регулятор ЛАТРа в положение, соответствующее минимальному выходному напряжению, проверить состояние управляющего контакта реле, кото-

рый должен быть замкнут. Если контакт не замкнут, то надо вернуть его в исходное положение нажатием на толкатель (контакт возвращается в исходное положение только после того, как биметаллическая пластинка привода контакта остынет до нужной температуры).

После проверки схемы преподавателем следует запитать стенд от сети и подать в схему напряжение. Затем надо через катушку реле КА1 плавно увеличить выходное напряжение ЛАТРа, что вызовет увеличение тока и довести его значение до величины $1,3I_n$. Засечь время срабатывания теплового реле. При этом раздастся легкий щелчок, и цепь питания трансформатора разорвется (амперметр покажет значение ноль). Затем необходимо обесточить стенд и дать время остыть катушке теплового реле для ускорения процесса и при наличии возможности допускается применение принудительного охлаждения. Опыт при значениях тока нагрузки $1,5I_n$, $1,7I_n$ следует повторить. Для тока нагрузки $1,5I_n$ следует провести опыт при трех положениях регулятора тока срабатывания (минимальное, среднее и максимальное). Данные надо занести в табл. 2.19 и построить график $t = f(I_n)$.

Таблица 2.19

Время протекания $I_{уст}$ при различных положениях регулятора, с

Величина $I_{уст}$	Минимальное	Среднее	Максимальное
$1,3I_n$			
$1,5I_n$			
$1,7I_n$			

Исследование магнитного пускателя

Определить тип магнитного пускателя и паспортные данные внести в таблицу. Ознакомиться с устройством основных частей неревверсивного магнитного пускателя и двухкнопочной станции.

Проверить целостность и состояние всех деталей и узлов пускателя (затяжку винтов, подвижную систему, которая должна перемещаться без заеданий и затираний и надежно возвращаться в конечное положение при рабочем положении пускателя), убедиться в плотности прилегания шлифованной поверхности сердечника электромагнита.

Проверить состояние главных контактов и блок-контактов и, если требуется, произвести чистку контактов от пыли, грязи, нагара. Определить воздушный зазор в среднем керне магнитной

системы и при его величине менее 0,05 мм восстановить ее до величины 0,2–0,25 мм для предотвращения гудения и залипания.

С помощью омметра проверить целостность обмотки. Если она повреждена, то заменить ее на новую. При разборке и сборке пускателя якорь и сердечник магнитной системы установить в том положении, которое было до разборки пускателя, что также необходимо и для устранения гудения.

Измерить сопротивление катушки управления. Для определения напряжения включения пускателя и тока катушки собирается схема (рис. 2.23.)

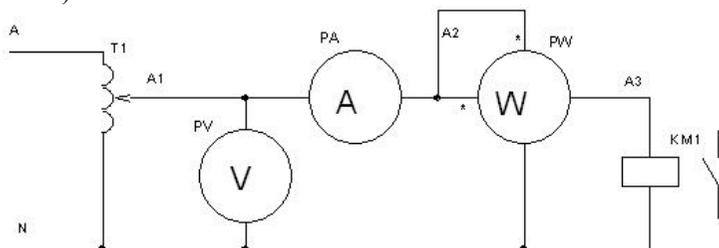


Рис. 2.23. Схема определения напряжения включения пускателя и тока катушки

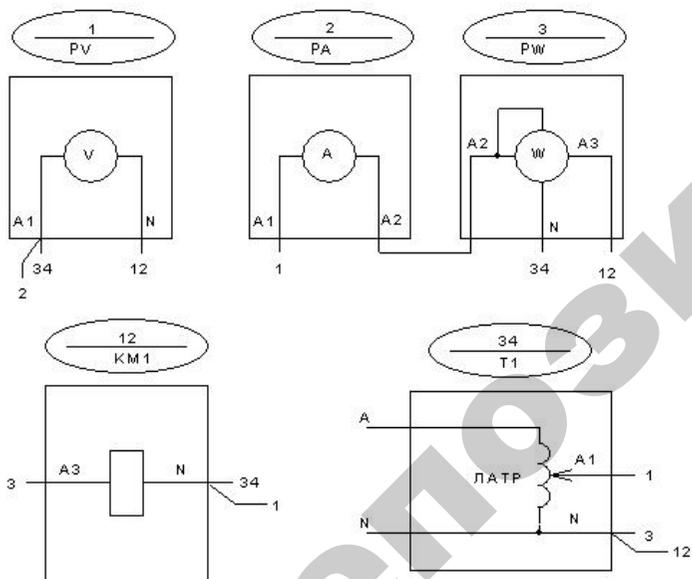


Рис. 2.24. Схема монтажная для исследования магнитного пускателя

Затем собрать схему монтажную по схеме рис. 2.24. После проверки схемы преподавателем следует запитать стенд от сети и подать в схему напряжение. Затем надо плавно увеличить выходное напряжение ЛАТРа до величины, предшествующей срабатыванию магнитного пускателя.

При этом необходимо избегать длительной работы пускателя в режимах с недотянутым якорем (сопровождается дребезжанием якоря и контактной системы), что может вызвать перегрев катушки пускателя.

Следует зафиксировать показания приборов в данный момент.

Затем плавно увеличивая напряжение на катушке до номинальной величины через каждые 10–20 В, надо снять показания приборов и данные занести в табл. 2.20.

Таблица 2.20

Результаты исследований

$R_{\text{кат}},$ Ом	Состояние магнитного пускателя	Перед срабатыванием		После срабатывания	
	$U_{\text{кат}},$ В				
	$I_{\text{кат}},$ А				
	$P_{\text{кат}},$ Вт				

Исследование автоматического выключателя

В лабораторной работе проводится диагностирование тепловых расцепителей автоматического выключателя. Методика исследований аналогична методике, применяемой для исследований теплового реле.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие параметры тепловых реле подлежат проверке после ремонта?
2. Какие параметры магнитных пускателей подлежат проверке после ремонта?
3. Какие виды неисправностей пускорегулирующей аппаратуры Вы знаете?

Примеры разноуровневых заданий для контроля знаний

Задания 1-го уровня

1. Что такое нереверсивный магнитный пускатель?

2. Какие марки неререверсивных магнитных пускателей имеют тепловое реле ТРН-10?

3. Что такое времятоковая характеристика теплового реле?

Задания 2-го уровня

1. Какие параметры измеряются при плановом диагностировании магнитного пускателя?

2. Опишите принцип действия теплового реле.

3. Какие параметры измеряются при плановом диагностировании автоматического выключателя?

Примеры разноуровневых заданий для проверки результатов изучения модуля 2

1-й уровень

1. Диагностирование осветительного и облучательного оборудования.

2. Особенности диагностирования погружных электродвигателей.

3. Классификация электроизоляционных материалов по нагревостойкости.

4. Методы диагностирования защитных устройств.

5. Принципы автоматизированного диагностирования электрооборудования.

2-й уровень

1. Диагностирование электродвигателей и генераторов.

2. Основные методы диагностирования электрической изоляции.

3. Контроль исправности устройств для выравнивания электрических потенциалов.

4. Комплексное диагностирование электрооборудования.

5. Диагностирование качества электрической энергии.

3-й уровень

1. Диагностирование опор ВЛ.

2. Приборы и оборудование вибродиагностики.

3. Диагностирование электрических контактов.

4. Диагностирование электроводонагревателей.

5. Прогнозирование технического состояния электрооборудования.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Гольдберг, О. Д.* Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей. — Москва : Энергоатомиздат, 1990. — 160 с.

2. ГОСТ 20911—89 «Техническая диагностика». — Москва : Издательство стандартов, 1990.

3. ГОСТ 27.002—89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения». — Москва: Издательство стандартов, 1990. — 37 с.

4. *Джавахар, Раутани.* Диагностика и поиск неисправностей электрооборудования и цепей управления / Ратауни Джавахар, Пэтил Дайниш, Марк Браун. — Додэка XXI Издательский дом, 2007. — 328 с.

5. *Михеев, Г. М.* Цифровая диагностика высоковольтного оборудования. — Додэка XXI Издательский дом, 2008. — 304 с.

6. *Овчаров, В. В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. — Киев : УСХА, 1990. — 168 с.

7. *Поспелов, Г. Е.* Надежность электроустановок сельскохозяйственного значения / Г. Е. Поспелов, В. И. Русан. — Минск : Ураджай, 1982. — 165 с.

8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. — Изд. 4-е, перераб. и доп., действующее в Республике Беларусь. — Гомель, 2008. — 672 с.

9. Правила устройства электроустановок. — Изд. 6-е, перераб. и доп., действующее в Республике Беларусь. — Гомель, 2008. — 640 с.

10. *Пястолов, А. А.* Эксплуатация электрооборудования. — Москва : Агропромиздат, 1990. — 287 с.

11. РД 50-690—89. «Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным». — Москва, 1990. — 132 с.

12. Рекомендации по организации ремонта и технического обслуживания электрооборудования на основе диагностирования. — Москва : ГОСНИТИ. — 1985. — 88 с.

13. *Русан, В. И.* Диагностика электрооборудования: методические указания по выполнению курсовой работы. — Минск : БГАТУ, 2007. — 38 с.

14. *Сердешнов, А. П.* Планирование эксплуатации сельскохозяйственного электрооборудования / А. П. Сердешнов, Г. И. Янукович. — Минск : Ураджай, 1992. — 87 с.

15. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозяйственных предприятий (ППРЭСх). — Москва : Агропромиздат, 1987. — 191 с.

16. *Таран, В. П.* Диагностирование электрооборудования. — Киев : Техника, 1983. — 200 с.

17. ТКП-181-2009 (02230) «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей». — Минск : Минэнрего, 2009.

Дополнительная

18. *Макадун, В. Л.* Диагностика электрооборудования. Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности С.03.02 «электрификация и автоматизация сельского хозяйства» / В. Л. Макадун, Ю. Н. Селюк, С. В. Кущева. — Минск : БГАТУ, 2002. — 75 с.

19. *Селюк Ю.Н.* Диагностика электрооборудования. Ч.2. Методические указания по выполнению лабораторных и практических работ / Ю. Н. Селюк, Т. В. Архипова. — Минск : БГАТУ, 2004. — 45 с.

20. *Бабицкий, В. В.* Планирование экспериментов. Учебно-методическое пособие по проведению экспериментов и обработки полученных результатов. — Минск : БНТУ, 2003. — 48 с.

21. ГОСТ 13109—97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

22. ГОСТ 17.510—72 «Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений».

23. ГОСТ 19348—82 «Изделия электротехнические сельскохозяйственного назначения. Общие технические условия»

24. Действующие нормативные документы в Республике Беларусь.

25. *Драхсел, Р. П.* Основы электроизмерительной техники. — Москва : Энергоиздат, 1982.

26. РД 153-34.0-20.363—99 «Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ».

27. РД 34.45-51.300—97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования».

28. РД ВУ008.609.90-099—2008 «Защита сельскохозяйственных животных от поражения электрическим током. Выравнивание электрических потенциалов. Общие технические требования». — Минск: РУП «ИЭ АПК НАН Б», 2005. — 38 с.

29. Рекомендации по экономической оценке ущербов, наносимых сельскохозяйственному производству отказами электрооборудования. — Москва : ВИЭСХ, 1987. — 33 с.

30. СТБ 941.41—99 «Система аккредитации. Общие требования к аккредитации лабораторий».

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Форма 1.2

Журнал диагностирования электрооборудования

_____ (наименование предприятия, хозяйства, участка обслуживания объекта)

Тип _____

Мощность, кВт _____ Инвентарный номер _____

Номинальное напряжение, В _____ Заводской номер _____

Номинальный ток, А _____ Место установки _____

Частота вращения, мин⁻¹ _____ Дата установки _____

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Форма 1.3

Распоряжение на проведение ремонтных работ №

от _____ 200 г.

_____ (наименование предприятия, хозяйства, участка обслуживания объекта)

Тип оборудования	Место установки	Инвентарный номер	Заводской номер	Вид ремонта или работ	Указания по выполнению ремонта		Отметка о выполнении ремонтных работ
					Срок выполнения, до (число, месяц)	Объем работ (перечень операций, которые необходимо выполнить)	
1	2	3	4	5	6	7	8

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица П. 4.1

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в помещениях для содержания крупного рогатого скота

Количество животных, приходящихся на один установленный электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %						
	0-1,2	1,21-1,4	1,41-2,2	2,21-2,8	2,81-3,4	3,41-4,6	4,61 и более
	Периодичность диагностирования, мес.						
7,5-22,5	5	5	4	4	4	3	2
22,6-27,5	5	5	4	3	3	3	2
27,6-35	5	4	4	3	2	2	2
35,1 и более	5	4	3	3	2	2	2

Таблица П. 4.2

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в помещениях для содержания телят, тёлоч, нетелей

Количество животных, приходящихся на один электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %						
	0-2,75	2,76-2,85	2,86-3,1	3,2-3,75	3,76-4,5	4,51-6,8	6,81 и более
	Периодичность диагностирования, мес.						
10-35	5	5	4	4	3	3	2
35,1-39	5	5	4	4	3	2	2
39,1 и более	5	4	4	2	2	2	2

Таблица П. 4.3

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в помещениях для содержания птицы

Количество птицы, приходящейся на один установленный электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %										
	0-0,5	0,51-1	1,01-1,05	1,06-1,1	1,11-1,25	1,26-1,6	1,61-2,7	2,71-3,5	3,51-5,2	5,21-7,3	7,31 и выше
	Периодичность диагностирования, мес.										
45-84	5	5	5	4	4	3	3	2	2	2	1
85-114	5	5	5	4	4	3	3	2	2	1	1
115-177	5	5	5	4	4	3	2	2	2	1	1
178-204	5	5	5	4	4	3	2	2	1	1	1
205-219	5	4	4	4	4	3	2	2	1	1	1
220-234	5	4	3	3	3	3	2	2	1	1	1
235-294	5	4	3	3	2	2	2	2	1	1	1
295 и более	5	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1

Таблица П. 4.4

Периодичность диагностирования электродвигателей, работающих в помещениях для содержания свиней

Количество животных, приходящихся на один установленный электродвигатель	Количество отказов, приходящихся на один электродвигатель, %														
	0-0,65	0,66-1,1	1,11-1,25	1,26-1,5	1,51-2,2	2,21-2,75	2,76-2,85	2,86-3,5	3,51-3,85	3,86-5,25	5,26-5,9	5,91-8,1	8,11-9,75	9,76 и более	
	Периодичность диагностирования, мес.														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
2-8	6	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	
8,1-15	6	5	5	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2	
15,1-25	6	5	5	5	4	4	3	3	3	2	2	2	2	2	
25,1-45	6	5	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	
45,1-55	6	5	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	1	1	
55,1-65	6	5	5	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	1	

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Таблица П. 6.1

Трудоемкость технического обслуживания
и ремонта внутренних электропроводок

Электропроводки	Площадь сечения, мм ²	Вид прокладки	Трудоемкость, чел-ч		
			Технического обслуживания	Текущего ремонта	
1	2	3	4	5	
Кабельные электропроводки в сетях напряжением до 1 кВ протяженностью 1000 м					
Силовые кабели ААБ, ААБГ, 3–4 жилые и др.	4–10	В проходных каналах	1,2	18	
	16–50		1,4	21	
	70–95		1,6	24	
	4–10	В непроходных каналах и по стенам на высоте до 2,5 м	1,6	24	
	16–50		1,8	27	
	70–95		2,0	30	
	4–10	По стенам на высоте более 2,5 м	1,8	27	
	16–50		2,2	33	
	70–95		2,4	36	
	Контрольные кабели КСРГ	(4–14)×1,5	В проходных каналах	1,2	18
		(19–30)×1,5		1,4	21
		37×1,5		1,6	24
(4–8)×2,5		1,2		18	
(10–30)×2,5		1,4	21		
37×2,5		1,6	24		
(4–14)×1,5		В непроходных каналах и по высоте до 2,5 м	1,6	24	
(19–30)×1,5			1,8	27	
37×1,5			2,0	30	
(4–8)×2,5			1,6	24	
(10–30)×2,5		1,8	27		
37×2,5		2,0	30		
(4–14)×1,5		По стенам на высоте более 2,5 м	1,8	27	
(19–30)×1,5			2,2	33	
37×1,5			2,4	36	
(4–8)×2,5			1,8	27	
(10–30)×2,5			2,2	33	
37×2,5			2,4	36	

Продолжение табл. П. 6.1

1	2	3	4	5
КВРГ	(4–24)×1,5	В проходных каналах	1,2	18
	(4–24)×1,5	В непроходных каналах и по стенам на высоте до 2,5 м	1,6	24
	(4–24)×1,5	По стенам на высоте более 2,5 м	1,8	27
КНРГ	(30–37)×1,5 (4–19)×2,5 (24–37)×2,5	В проходных каналах	1,4	21
	(30–37)×1,5 (4–19)×2,5		1,2	18
	(4–19)×2,5		1,4	21
	(30–37)×1,5 (4–19)×2,5 (24–37)×2,5	В непроходных каналах и по стенам на высоте до 2,5 м	1,8	27
	(30–37)×1,5 (4–19)×2,5		1,6	24
	(24–37)×2,5		1,8	27
КАБГ	(30–37)×1,5 (4–19)×2,5 (24–37)×2,5	По стенам на высоте более 2,5 м	2,2	33
	(30–37)×1,5 (4–19)×2,5		2,4	36
	(24–37)×2,5		2,4	33
	(7–8)×1,5	В проходных каналах	1,2	18
			1,6	24
		В непроходных каналах и по стенам на высоте до 2,5 м	1,6	24
	(7–8)×1,5	По стенам на высоте более 2,5 м	1,8	27
			1,4	21
			1,2	18
В проходных каналах		1,4	21	
		1,6	24	
		1,8	27	
(10–37)×1,5 (5–8)×2,5 (10–24)×2,5 (30–37)×2,5	В непроходных каналах	1,8	27	
		1,6	24	
		1,8	27	
	В непроходных каналах и по стенам на высоте до 2,5 м	1,8	27	
		2,0	30	
		2,2	33	
(10–37)×1,5 (5–8)×2,5 (10–24)×2,5 (30–37)×2,5	По стенам на высоте более 2,5 м	2,2	33	
		1,8	27	
		2,2	33	
		2,4	36	

Продолжение табл. П. 6.1

1	2	3	4	5
Электропроводки, выполненные проводами в сетях напряжением до 1 кВ протяженностью 1000 м				
Провода на роликах	2,5 6	По деревянным основаниям	3,4 3,8	51 57
	2,5	По различным основаниям, кроме деревянных	5,6 6	84 90
Провода на закрепах с роликами	2,5 6	2 в линии	8 9	100 135
	2,5 6	3 в линии	10 12	150 180
Провода на крюках с изоляторами	16	По деревянным основаниям	3,6	54
	35		4,4	66
	70		5,4	81
	120		6,4	96
	6	По различным основаниям, кроме деревянных	4,2	63
	10		4,8	72
	16		4,8	72
	35		5,2	78
70	6,8	102		
120	7,6	114		
Провода на якорях и полуякорях с изоляторами	2,5 6	По деревянным основаниям	6,8 8	102 120
	2,5 6	То же, 2 в линию	10	150
			12	180
	2,5 6	По бетонным основаниям	9	135
			10	150
	2,5 6	То же, 3 в линию	15	225
			17	255
	2,5 6	Поперек ферм	2,4	36
			4,8	72
	2,5 6	То же, 3 в линию	3,8	57
4,4			66	
2,5 6	Вдоль ферм	7,4	111	
		8	120	

Продолжение табл. П. 6.1

1	2	3	4	5
Провода тросовые марки АТРГ 3 и 4- жильные	6	—	4,5	45
Кабель марок ВРГ, НРГ, АВРГ, АНРГ, закрепляемый на тросе	2,5	—	4,2	66
	6		4,6	69
	10		5,0	75
Провод изолированный	16	В лотках или коробах	0,9	13,5
	36		1,1	16,5
	70 110		1,3 2	19,5 30
Кабели марок СРГ, АСРГ, ВРГ, НРГ или АНРГ	2,5	С креплениями накладными скобами	13	195
	6		14	210
	10		14,4	216
Шнур осветительный АППВ, ППВ, АПН	2,5	При открытой проводке	4,8	72
	6		5,2	78
Провод одножильный или многожильный в общей	2,5	Проводка в стальных трубах	1,2	18
	6		1,4	21
	10–16		1,8	27
	35		2,6	39
	70 120		2,8 3,2	42 48
Провод одножильный 2 в линию	2,5	Проводка в стальных трубах	1,7	25,6
	6		2	30
	10–16		3,2	48
	35		3,8	57
	70 120		4,4 4,8	66 72
Провод одножильный 3 в линию	2,5	Проводка в стальных трубах	2,2	33
	6		2,6	39
	10–16		3,8	57
	35		4,8	72
	70		5,8	87
	120		6,6	99

Окончание табл. П. 6.1

1	2	3	4	5
Провод одножильный 4 в линию	2,5	Проводка в стальных трубах	2,8	42
	6		3,2	48
	10–16		4,8	72
	35		6	90
	70		7,2	108
	120		8,4	126

Таблица П. 6.2

Трудоёмкость технического обслуживания и текущего ремонта
осветительных щитков

Щитки осветительные с числом групп	Трудоёмкость, чел-ч.	
	Технического обслуживания	Текущего ремонта
2	0,2	3
3	0,24	3,6
4	0,28	4,2
5	0,32	4,8
6	0,36	5,4
7	0,4	6
8	0,44	6,6
9	0,48	7,2
10	0,52	7,8
12	0,6	9
14	0,68	10,2
16	0,76	11,4

Таблица П. 6.3

Трудоёмкости технического обслуживания и ремонта
средств автоматизации

Наименование средств автоматизации	Трудоёмкость чел-ч.	
	Техническое об- служивание	Текущий ремонт
1	2	3
Средства автоматизации для контроля и регулирования температуры. Сигнализаторы температуры		
Дилатометрические ТР, ТУДЭ	0,4	1,0
Биметаллические РБ	0,8	3,5

Окончание табл. П. 6.3

1	2	3
Электронные	1,4	4,0
Регуляторы температуры прямого действия Р1Щ, Р1Щ11	0,9	2,3
Температурное реле ТР-200	0,4	1,0
Датчик температуры ДТКМ-ЗБ	0,5	1,3
Датчик-реле температуры ТР-1-0.2-2	0,4	1,0
Терморегулирующий вентиль ТРВ-7М	0,8	2,0
Средства автоматизации для измерения и регулирования давления и разрежения		
Датчик реле напора ДН тяги ДТ, давления ДД перепада напора ДПН и напора и тяги ДНГ	0,6	1,5
Сигнализатор падения давления мембранный СЦЦ	0,7	1,8
Регулятор давления РД-12	0,7	1,8
Реле давления РД-1	0,2	0,6
Средства автоматизации для контроля и измерения уровня жидких и сыпучих сред		
Измерительная диафрагма ДКН-10-250	0,2	0,4
Дроссель регулирующий Г 77	0,5	1,6
Датчик уровня мембранный МДУ-3М	0,2	0,6
Исполнительный механизм МЭП-10/100	1,0	3,0
Исполнительный механизм ПР-1М	1,2	3,3
Средства автоматизации для контроля состава и свойств вещества		
Мост электронный с записью на дисковой диаграмме ЭП120	1,3	3,2
Мост уравновешенный автоматический элек- тронный ЭМВ-2	1,2	3,0
Электрическая аппаратура		
Реле времени: электропневматические	0,6	1,5
электронные	1,0	5,0
моторные	0,8	4,0
фотодатчик ФД-А 3Ф	0,3	—
Реле промежуточные РПГ-100, ПЭ, ЭД 4ЩРГЖ	0,2	0,8
Реле импульсной сигнализации РИЗ-3ЗМ	0,4	1,0

Таблица П. 6.4

Трудоемкости, технического обслуживания и текущего ремонта светотехнического оборудования

Наименование светотехнического оборудования	Трудоемкость, чел-ч	
	Технического обслуживания	Текущего ремонта
1. Светильники для сухих и влажных помещений:		
а) с лампами накаливания	0,1	0,25
б) с газоразрядными лампами	0,13	0,3
2. Светильники и облучатели для помещений сырых, особо сырых и с химически активной средой:		
а) с лампами накаливания	0,15	0,4
б) с газоразрядными лампами	0,2	0,5
3. Облучатели тепличные с газоразрядными лампами высокого давления	0,2	1

Таблица П. 6.5

Трудоемкость технического обслуживания и текущего ремонта силовых сборок

Силовые сборки с вводным рубильником с числом групп	Трудоемкость, чел-ч	
	Технического обслуживания	Текущего ремонта
4	0,36	5,4
5	0,42	6,3
6	0,48	7,2
7	0,54	8,1
8	0,6	9,0
10	0,7	10,5
12	0,8	12

Таблица П. 6.6

Трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта установок культурно-бытового назначения

Наименование оборудования	Вид работ	Трудоемкость, чел-ч
1	2	3
Установки наружного освещения	Объезд	0,03 (на 1 км распределительной сети)
	Обход	0,15
	Замена электролампы с подъемом на автовышке	0,17 (на 1 лампу)

Окончание табл. П. 6.6

1	2	3
	Чистка	0,34 (на 1 светильник)
		0,44 (на 1 прожектор)
	Текущий ремонт	
		0,66 (на 1 прожектор или светильник с люминесцентными лампами)
Полная замена установки		0,72 (на 1 светильник) 0,63 (на 1 прожектор)
Стационарные электроплиты	Техническое обслуживание	0,7
	Текущий ремонт	0,9

Таблица П. 6.7

Трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта сварочных трансформаторов, генераторов и преобразователей

Наименование электрооборудования	Номинальный сварочный ток, А	Норма трудоемкости, чел-ч	
		Технического обслуживания	Текущего ремонта
Трансформаторы сварочные	160	0,2	8
	300	0,3	11,5
Генераторы сварочные	120	1,3	13,6
	300	1,5	19,2
Преобразователи сварочные	120	1,5	19,2
	300	1,8	22,4

Таблица П. 6.8

Трудоемкости технического обслуживания и текущего ремонта КИП

Наименование	Норма трудоемкости, чел-ч	
	Технического обслуживания	Текущего ремонта
Щитовые электроизмерительные приборы		
Амперметры, вольтметры, омметры магнитоэлектрической и электромагнитной систем класса 1,0–2,5	0,15	1,4
Счетчики электрической энергии		
Счетчики трехфазные для учета активной и реактивной энергии трех- и четырехпроводной систем СА3, СА4, СР3, СР4	0,14	1,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Таблица П.7.1

Задачи и цели диагностирования

Вид ремонтных работ	Задачи диагностирования электрооборудования
Техническое обслуживание	Определение работоспособности, проверка стабильности регулировок, определение необходимости ремонта или замена узлов и деталей, контроль обобщающих параметров (температуры 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 П.7.2

Диагностирование электрооборудования при техническом обслуживании

Наименование оборудования	Измеряемые параметры	Средства измерения
1	2	3
Электродвигатели асинхронных серий	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.	Мегомметры, приборы для измерения амплитуды и вибрации, электроизмерительные клещи,

Продолжение табл. П. 7.2

Наименование оборудования	Измеряемые параметры	Средства измерения
	4. Температура корпуса, подшипниковых щитов в зоне подшипников, соединений выводных концов с подводящими питание проводами, в зоне контакта щеток с контактными кольцами	приборы для бесконтактного измерения температуры
Погружные электродвигатели	1. Сопротивление изоляции обмотки статора. 2. Токи, потребляемые электродвигателем	Мегомметры, электроизмерительные клещи
Генераторы передвижных электростанций	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	Мегомметры, приборы для измерения амплитуды вибраций, приборы для бесконтактного измерения температуры
Сварочные генераторы	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	Мегомметры, приборы для измерения амплитуды вибрации, приборы для бесконтактного измерения температуры
Сварочные преобразователи	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,	Мегомметры, приборы для измерения амплитуды вибрации, приборы для бесконтактного измерения температуры

Окончание табл. П. 7.2

Наименование оборудования	Измеряемые параметры	Средства измерения
	выводных зажимов генератора, подшипниковых щитов в зоне подшипников, корпуса электродвигателя, соединений выводных концов электродвигателя с подводными питающими проводами	
Магнитные пускатели	1. Температура контактов и мест соединений силовых цепей 2. Задержка в отпуске магнитной системы при отключении магнитного пускателя	Приборы для бесконтактного измерения температуры
Автоматические выключатели	Температура контактов и мест соединений силовых цепей	Приборы для бесконтактного измерения температуры
Электроркалориферы	1. Сопротивление изоляции. 2. Температура воздуха на выходе	Мегомметры, термометры
Электродонагреватели и парогенераторы	1. Переходное сопротивление между корпусом и шиной контура заземления. 2. Сопротивление 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 П.7.3

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

Продолжение табл. П. 7.3

1	2	3
Определение состояния корпуса и межфазной изоляции обмоток, а также изоляции относительно вала	Токи 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	—
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

1	2	3
Погружные электродвигатели		
Определение состояния обмотки статора	Токи утечки: – абсолютная величина (при напряжении 600 В); – приращение при повышенном напряжении (от 1000 до 1100 В); – 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
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

1	2	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-1-125-1, динамометр, шаблон
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	Напряжение на зажимах при номинальном токе генератора. Степень искрения под сбегующим 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, динамометр, шаблон
Определение состояния коллектора	1. Глубина залегания изоляции между пластинами коллектора. 2. Величина биения коллектора.	Штангенциркуль ШЦ-1-125, индикатор

Продолжение табл. П. 7.3

1	2	3
	3. Падение напряжения между расположенными рядом пластинами	часового типа, схема для измерения падения напряжения, милливольтметр
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, 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 напряжения (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	—

Продолжение табл. П. 7.3

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

Окончание табл. П. 7.3

1	2	3
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.
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, термометр ТЛ-4

Таблица П.7.4

Диагностирование электрооборудования при текущем ремонте

Наименование диагностируемого узла или детали	Степень разборки электрооборудования	Измеряемые параметры	Средства измерения
1	2	3	4
Электродвигатели асинхронных единых серий			
Обмотки статора и фазного ротора: изоляция обмотки;	Статор без подшипниковых щитов и ротора	Токи утечки: – абсолютная величина (при напряжении 1200 и 1800 В);	Приборы или схемы для измерения

Продолжение табл. П. 7.4

1	2	3	4
Статора относительно корпуса и между фазами		– относительное приращение при повышенном напряжении (от 1200 до 1800 В); – величина несимметрии в фазах обмотки – стабильность при повышении напряжения до 1800 В (в отсутствие колебаний и бросков)	токов утечки ВС-23, микроамперметр М-95
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 табл. П. 7.4

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
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

Продолжение табл. П. 7.4

1	2	3	4
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
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

1	2	3	4
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
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, термометр ТЛ-4

Таблица П.8.1

Данные для проверки состояния контактных систем магнитных пускателей

ПМЕ-000	ПМЕ-100	ПМЕ-200	П-6	ПА-300	ПА-400	ПА-500	ПА-600
Раствор главных контактов (не менее), мм							
2,8	2,5	3	$3^{+0,7}_{-0,5}$	3	3	4	4
Провал главных контактов, мм							
$2 \pm 0,4$	$2,5 \pm 0,5$	$3 \pm 0,5$	$2,4 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,3$	$3 \pm 0,5$	$4 \pm 0,5$	$4 \pm 0,5$
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							
$2 \pm 0,4$	$2,5 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$	$2,2 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$	$2,5 \pm 0,5$
Нажатие пружины главных контактов, кгс: – начальное; – конечное							
— 0,11	— 0,2	— 0,45	— 0,27	$0,6 \pm 0,035$ $0,97 \pm 0,05$	$1,3 \pm 0,13$ $1,88 \pm 0,18$	$2,3 \pm 0,25$ $3,28 \pm 0,33$	$3,4 \pm 0,17$ $5,06 \pm 0,25$
Нажатие возвратной пружины, кгс: – начальное; – конечное							
— —	— —	— —	— —	$0,65 \pm 0,035$ $0,8 \pm 0,04$	$1,1 \pm 0,1$ $1,5 \pm 0,15$	$1,65 \pm 0,16$ $1,92 \pm 0,19$	$2,8 \pm 0,19$ $3,7 \pm 0,185$
— 0,1	— 0,2	— 0,2	— 0,27	$0,23 \pm 0,012$ $0,4 \pm 0,02$			
— 0,1	— 0,2	— 0,2	— 0,27	$0,115 \pm 0,006$ $0,161 \pm 0,008$			

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

Данные для регулирования
автоматических выключателей серии А3100

Параметры	Автоматические выключатели			
	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	—	—

Примечание. При переводе килограмм-силы (кгс) в ньютоны необходимо приведенные значения умножить на 9,80665.

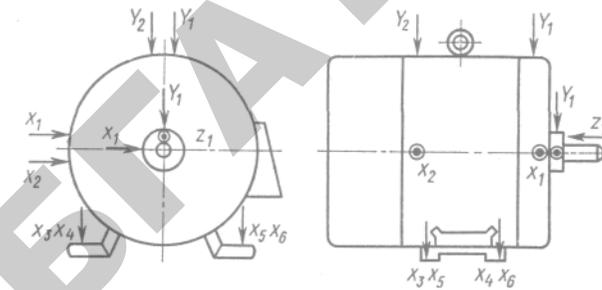


Рис. П.9.1. Схема расположения точек измерения и направления вибраций для электрических машин формы исполнения М10 со степенью защиты IP44

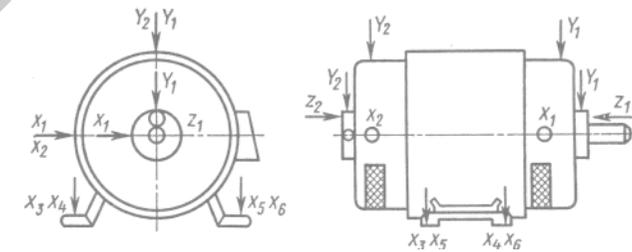


Рис. П.9.2. Схемы расположения точек измерения и направления вибраций для электрических машин формы исполнения М10 со степенью защиты IP22

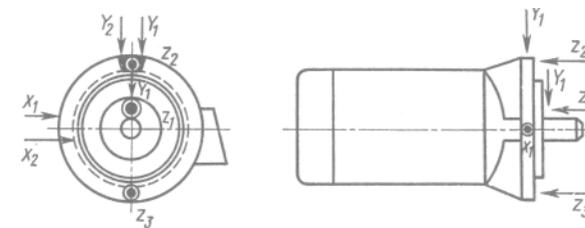


Рис. П.9.3. Схемы расположения точек измерения и направления вибраций для электрических машин формы исполнения М30 со степенью защиты IP44

Учебное издание

СОДЕРЖАНИЕ

Модуль 0. ВВЕДЕНИЕ	3
Модуль 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	7
Материалы к практическим занятиям	95
Модуль 2. СПОСОБЫ И СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДОВ И УЗЛОВ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	144
Материалы к лабораторным занятиям.....	236
ЛИТЕРАТУРА	260
ПРИЛОЖЕНИЯ	263

ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Учебно-методический комплекс

Составители:

Русан Викентий Иванович,
Шварц Кирилл Юрьевич

Ответственный за выпуск В. В. Лисовский
Редактор Н. Н. Акимов
Корректор В. А. Гошко
Компьютерная верстка В. А. Гошко

Подписано в печать 17.01.2012 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 17,2. Уч.-изд. л. 13,45. Тираж 250 экз. Заказ 56.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.

Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.