

Введение

В сельском хозяйстве используется большое количество электрических двигателей, трансформаторов, осветительных установок, пускозащитной аппаратуры, устройств автоматики.

По мере развития сельскохозяйственного производства происходит повышение энергетической насыщенности отдельных технологических процессов, наблюдается все более широкое использование электрооборудования в составе поточных линий и сложных технологических комплексов с микропроцессорным управлением. Бурный прогресс отмечается в области разработки средств диагностики и измерений, используемых при эксплуатации электроустановок. Наряду с применением новых видов электротехнических изделий в сельском хозяйстве ведутся работы по совершенствованию организационных форм эксплуатации электрооборудования, направленных на сокращение времени проведения профилактических и восстановительных работ, повышение надежности электроустановок, создание и использование в перспективе автоматизированной системы управления проведением эксплуатационных мероприятий.

Персонал электротехнической службы должен иметь ясное представление о тех процессах и явлениях, которые происходят в электроустановках при длительной эксплуатации, о причинах выхода электрооборудования из строя, уметь выполнять необходимый объем плановых мероприятий по поддержанию его в работоспособном состоянии. Помимо этого он должен уметь планировать работы, ставить конкретные задания электромонтерам, контролировать соблюдение ими правил охраны труда, проводить инструктажи, организовать техническую учебу персонала.

Важно также обеспечить рациональное использование электрооборудования в хозяйстве, наладить учет отказов электротехнических изделий и оперативную обработку полученных данных, чтобы правильно решать вопросы материально-технического снабжения электротехнических служб.

В данном учебнике с единых методических позиций излагаются основы теории эксплуатации электрооборудования, вопросы его технического обслуживания и ремонта, организации деятельности энергослужб. При этом обобщен многолетний опыт преподавания авторами эксплуатационных дисциплин, а также современные тенденции в развитии вопросов обслуживания и ремонта электротехнических изделий.

Цель разработки учебника – помочь студентам освоить накопленный опыт современных методов эксплуатации электрооборудования промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

РАЗДЕЛ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

1. Общие вопросы эксплуатации электрооборудования

1.1. Основные понятия и определения

Масштабы использования электрооборудования в народном хозяйстве растут. Увеличивается его сложность, расширяются области применения. Все в большем объеме оно используется в составе поточных линий и сложных технологических установок. Для успешного функционирования электроустановок необходима хорошо организованная эксплуатация, которая должна базироваться на определенных научных принципах.

Слово «эксплуатация» происходит от французского слова «exploitation», что означает получение пользы или выгоды от чего-либо. В общем случае под эксплуатацией следует понимать совокупность организованных действий по приведению электрооборудования в рабочее состояние, поддержанию его в этом состоянии, а также использованию по назначению с требуемой эффективностью. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей [9] трактуют термин «эксплуатация» как стадию жизненного цикла изделия, на котором реализуется, поддерживается и восстанавливается его качество.

Эксплуатация как наука определяет пути и методы наиболее эффективного управления техническим состоянием электрооборудования в целях его надежной работы при определенных материальных и трудовых затратах.

Различают производственную и техническую эксплуатацию.

Производственная эксплуатация – это процесс использования электрооборудования по своему назначению. На предприятиях АПК производственную эксплуатацию осуществляет персонал, обслуживающий технологические установки.

Техническая эксплуатация как область практической деятельности – это комплекс технических, экономических, организационных и других мероприятий, обеспечивающих поддержание электрооборудования в работоспособном состоянии. Технической эксплуатацией занимается персонал энергослужб.

Эксплуатация электрооборудования характеризуется временем действия и местом и охватывает весь период существования изделий с момента приобретения до достижения ими предельного состояния, при котором дальнейшее применение их недопустимо или нецелесообразно, а восстановление неоправданно. Основные этапы эксплуатации: хранение,

транспортирование, подготовка к применению, применение по назначению, техническое обслуживание, ремонт.

Электрооборудование в процессе эксплуатации подвергается действию различных факторов. Условия эксплуатации – это совокупность параметров, действующих на электрооборудование в процессе эксплуатации. К ним относятся климатические условия, стабильность параметров электроэнергии, механические и электрические нагрузки, квалификация обслуживающего персонала, обеспеченность запасным оборудованием и т. д.

1.2. Эксплуатационные свойства электрооборудования

В процессе эксплуатации происходит непрерывное изменение характеристик объекта эксплуатации под воздействием окружающей среды, режима работы, действий обслуживающего персонала и т. д.

Под эксплуатационными свойствами электрооборудования понимают его надежность, готовность к выполнению возложенных функций, экономичность.

Надежность – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Готовность – свойство объекта, характеризующее его приспособленность к переводу из любого исходного состояния в состояние непосредственного применения по назначению.

Экономичность – свойство, характеризующее затраты на эксплуатацию электрооборудования.

Из совокупности перечисленных свойств одним из наиболее важных является надежность электрооборудования, так как она определяет эффективность использования его по назначению и существенно влияет на экономические показатели. Поэтому требование по обеспечению высокой надежности электрооборудования предопределяет необходимость проведения определенных технических мероприятий по поддержанию показателей оборудования на высоком уровне.

Проводимые при эксплуатации мероприятия делятся на технические обслуживания (ТО) и ремонты электрооборудования. Помимо основной задачи, связанной с поддержанием электрооборудования в исправном состоянии, персонал энергослужб занимается планированием работ и реализацией планов-графиков профилактических мероприятий, модернизацией электроустановок и приемкой в эксплуатацию нового оборудования, выполняет оперативную работу, обеспечивает рациональное и эффективное использование всех видов топливно-энергетических ресурсов, решает вопросы материально-технического снабжения, ведет обучение персонала.

1.3. Характеристика эксплуатационных мероприятий

1.3.1. Техническое обслуживание

Техническое обслуживание является основным и решающим профилактическим мероприятием, необходимым для обеспечения надежной работы оборудования между плановыми ремонтами.

В общем случае ТО предусматривает уход за оборудованием и сетями. Оно включает: проведение осмотров; систематическое наблюдение за исправным состоянием электроустановок; соблюдение правил эксплуатации, предписаний заводской документации и местных эксплуатационных инструкций; устранение мелких неисправностей, не требующих отключения оборудования и сетей; регулировку; продувку; смазку. Техническое обслуживание должно проводиться в соответствии с действующими нормативными документами и инструкциями заводов-изготовителей. При отсутствии заводской документации инструкции по ТО должны разрабатываться и утверждаться непосредственно на предприятии.

Осмотр является составной частью всех работ, связанных с ТО электрооборудования. Осмотр выполняется с целью выявления признаков возможных неисправностей, положения органов управления, проверки встроенных приборов и устройств сигнализации, проверки состояния монтажа и т. п.

В условиях эксплуатации очистку оборудования и уход за его внешним видом необходимо рассматривать как обязательное мероприятие, осуществляемое систематически. Оно должно предшествовать всем другим операциям, проводимым при ТО. Объем работ по очистке определяется конкретным видом оборудования, однако общими мероприятиями являются: удаление пыли и грязи, влаги, следов коррозии, подтеков масла и т. п.

Операции по очистке проводятся с помощью пылесосов; сухих щеток; кистей; ветоши, смоченной предусмотренным для данного оборудования растворителем и т. п.

Контрольно-измерительную аппаратуру и приборы, детали гидравлических приводов, органы управления протирают мягкой хлопчатобумажной тканью. Все окрашенные поверхности протирают ветошью, смоченной трансформаторным маслом. Грязь и затвердевшие отложения удаляют тупыми деревянными скребками. После проведения мойки (в случае необходимости) следует тщательно удалить капельки влаги и продуть оборудование сжатым воздухом.

Соединение деталей электрооборудования в основном осуществляется резьбовым способом. В процессе эксплуатации может иметь место ослабление затяжки вследствие самостоятельного отвинчивания за счет

вибрации, смятие рабочих поверхностей резьбы. Основная задача крепежных работ состоит в сохранении стабильности предварительной затяжки соединений.

При выполнении ТО проводят осмотр соединений и их подтяжку, заменяют утерянные или пришедшие в негодность детали новыми. Необходимо учитывать, что периодическое подтягивание резьбовых соединений без особой необходимости может привести к нарушению затяжки. Поэтому подтягивать необходимо лишь ослабленные соединения. Для восстановления требуемой затяжки следует пользоваться динамометрическим ключом. Определение ослабленных резьбовых соединений выполняют, постукивая молотком по гайкам и головкам болтов. Ослабленное соединение издает характерный дребезжащий звук.

Необходимость регулировочных работ обусловлена тем, что под действием ряда дестабилизирующих факторов неизбежен выход показателей функционирования электроустановок за допустимые пределы. При регулировках эти выходы компенсируются с помощью регулировочных элементов. К таким элементам относятся противодействующие пружины, настроечные сердечники, ограничители зазоров и др.

В практике эксплуатации нашли применение два метода регулировки: метод регулировки по измерительным приборам и метод сравнения.

Регулировка по измерительным приборам сводится к следующим операциям. На входы соответствующего регулируемого элемента подаются требуемые входные воздействия, а к внешним входам подключаются измерительные приборы. Оперируя элементами регулировки, добиваются того, чтобы параметры регулируемого элемента соответствовали допустимым значениям.

Сущность метода сравнения заключается в том, что значения выходных параметров регулируемого элемента сравниваются со значениями выходных параметров некоторого эталона.

Испытания преследуют цель контроля эксплуатационной надежности и безопасности обслуживания электрооборудования и своевременного обнаружения и предупреждения возникновения аварийных ситуаций. Сюда следует отнести, например, испытания электрической прочности изоляции, испытания трансформаторного масла, измерения сопротивления заземления и др.

Для большей части оборудования и сетей испытания не планируются как самостоятельная операция, а входят в состав плановых профилактических мероприятий.

1.3.2. Ремонты электрооборудования

Плановые ремонты являются основным видом управления техническим состоянием и восстановлением ресурса оборудования. Плановые ремонты реализуются в виде капитального (КР), среднего (СР) и текущего (ТР) ремонтов.

Капитальный ремонт – ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса изделия с заменой или восстановлением любых частей вплоть до базовых узлов.

Капитальный ремонт – наиболее сложный и полный по объему вид ремонта. При этом производится полная разборка оборудования или вскрытие сети, восстановление или замена изношенных элементов или участков, ремонт базовых деталей, обмоток, коммутационных устройств. Проводится регулировка, наладка и полная программа испытаний согласно Правилам технической эксплуатации электроустановок потребителей [9] или эксплуатационных инструкций.

Средний ремонт – ремонт, выполняемый для восстановления исправного состояния и частичного восстановления ресурса изделия с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контроля состояния согласно требованиям нормативно-технической документации (НТД). Указанный вид ремонта, например, проводится для трансформаторов в том случае, если нет необходимости производить рашихтовку магнитопровода.

Капитальный и средний ремонт электрооборудования промышленных и сельскохозяйственных предприятий, как правило, проводится на специализированных ремонтных предприятиях.

Текущий ремонт – ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности изделия и состоящий в замене и (или) восстановлении отдельных частей. При этом виде ремонта путем проверки, очистки, замены быстро изнашиваемых частей, наладки и регулировки оборудование и сети поддерживаются в работоспособном состоянии в период гарантированной наработки. Обычно ТР проводится без разборки основных узлов и без вскрытия подземных и скрытых сетей и выполняется силами персонала энергослужб.

1.4. Стратегии обслуживания электрооборудования

При построении системы технических обслуживаний и ремонтов оборудования большое значение имеет стратегия выполнения работ, которая устанавливает основные технические принципы обслуживания и тем самым определяет затраты труда, средств и времени на проведение работ.

При эксплуатации электрооборудования возможны три стратегии обслуживания электрооборудования: «нулевая», регламентированная, по текущему состоянию.

«Нулевая» стратегия предполагает выполнение ремонтных работ только после выхода электрооборудования из строя. В этом случае показатели надежности электроустановок могут оказаться весьма низкими.

Плановое обслуживание. Стратегия регламентированного обслуживания заключается в том, что эксплуатационные мероприятия проводятся с периодичностью и с объемом работ, приводимых в эксплуатационной документации. По своему содержанию этот вид обслуживания электрооборудования является групповым, так как базируется на осредненном опыте эксплуатации однотипных групп оборудования. В этом его преимущество. Основной недостаток такого подхода заключается в не учете фактического состояния электрооборудования, при этом некоторые работы могут оказаться лишними, и в то же время изделие может выйти из строя в период между очередными текущими ремонтами. Вместе с тем плановая система обслуживания электрооборудования хорошо себя зарекомендовала и широко применяется при эксплуатации электрических сетей, электроустановок предприятий связи и других объектов. Имеется положительный опыт ее использования в сельском хозяйстве.

Обслуживание по текущему состоянию заключается в том, что контроль технического состояния выполняется с периодичностью и в объеме, установленном НТД, а момент начала проведения мероприятий и объем восстановительных работ определяется техническим состоянием составных частей электроустановки. Указанная стратегия обслуживания является наиболее эффективной и прогрессивной. Однако для ее внедрения необходимы разработка соответствующих диагностических средств, высокая квалификация обслуживающего персонала, перестройка принципов работы энергослужб.

Наиболее эффективной формой организации ремонтов является централизованная форма, при которой текущий, средний и капитальный ремонты осуществляются специализированными подразделениями самого предприятия или подрядной организации.

2. Надежность электрооборудования

2.1. Терминология, применяемая в теории надежности

Для нормального функционирования электроустановок необходимо обеспечить надлежащее качество изготовления, монтажа и эксплуатации установленных в них электротехнических изделий.

Качество электротехнических устройств – это совокупность свойств, характеризующих их пригодность для эксплуатации. Для оценки качества используются технико-экономические показатели. Различают технико-экономические показатели назначения, технологичности, стандартизации и унификации, надежности и др.

Таким образом, надежность является составным свойством качества продукции. Однако она имеет ряд особенностей, что приводит к необходимости введения понятий, которые применяются для данного свойства. Термины и определения, используемые в теории надежности систем электроэнергетики, даны в ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия и определения» [3] и в документе «Надежность систем энергетики. Терминология» (издательство «Наука», 2002).

Все термины теории надежности рассматриваются применительно к объекту, под которым понимается предмет определенного целевого назначения. Под объектом можно понимать электротехническое изделие, техническую систему, комплект оборудования. Во всех случаях, когда нет необходимости конкретизировать предмет исследования, говорят об объекте и надежности объекта. Если же рассматривается задача, специфичная только для определенного вида изделия, то говорят о надежности трансформатора, изоляторов, линии электропередачи и др.

При построении теории надежности различают три уровня сложности изделия: элемент, устройство, система. Но обычно используется двухпозиционная структура «элемент – система». Под системой в теории надежности понимается совокупность совместно действующих объектов. Элементом называется часть системы. Понятие элемента и системы в расчетах надежности относительны. Объект, считающийся системой в одном исследовании, может рассматриваться как элемент, если изучается элемент большего масштаба. Например, если исследуется надежность работы асинхронного электродвигателя, то элементами его будут корпус, обмотка, подшипниковый узел и т. д. Если изучать надежность обмотки электродвигателя, то удобно обмотку рассматривать как изделие, состоящее из пазовой изоляции, катушек и других элементов.

Надежность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения состоит из сочетания свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технических обслуживаний и ремонтов.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения технических обслуживаний и ремонтов.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

С позиций теории надежности объект может находиться в исправном состоянии, неисправном, работоспособном и неработоспособном.

Исправное состояние – это состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической документации (НТД). Если же хотя бы по одному из требований изделие не соответствует НТД, то считается, что оно находится в неисправном состоянии.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором он способен выполнять (или выполняет) заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных технической документацией. Состояние объекта, при котором значение хотя бы одного заданного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям, установленным НТД, называется неработоспособным.

Понятие «исправное состояние» шире, чем понятие «работоспособное состояние». Работоспособный объект, в отличие от неисправного объекта, удовлетворяет лишь тем требованиям НТД, которые обеспечивают его нормальное функционирование. При этом он может не удовлетворять, например, требованиям, относящимся к внешнему виду изделия. Работоспособный объект может быть неисправным, однако его повреждения при этом не настолько существенны, чтобы могли препятствовать функционированию объекта.

Объект переходит в неработоспособное состояние после события, которое называется отказом.

Отказ занимает одно из центральных мест в теории надежности, поскольку теория надежности – это наука, изучающая закономерности отказов технических устройств.

Отказы относятся к малоизученным явлениям. Указанная ситуация объясняется прежде всего тем, что время возникновения отказа зависит от большого числа случайных факторов, его трудно рассчитать и еще труднее измерить.

Время восстановления отказов и время работы объекта между отказами представляют собой случайные явления, что объясняется изменением условий эксплуатации, режимами работы технологических систем, принятой системой обслуживания и ремонта электроустановок и другими факторами.

При изучении закономерностей отказов наибольший интерес представляет изучение места и времени возникновения отказа и, в особенности, промежутка времени восстановления работоспособного состояния объекта.

Случайный характер процессов, характеризующих надежность, позволяет заключить, что математическим аппаратом теории надежности могут быть теория вероятностей и математическая статистика. При этом следует иметь в виду, что теория надежности является самостоятельной наукой, а не отдельным разделом теории вероятностей. Она является технической, а не математической дисциплиной, и круг решаемых ею задач не ограничивается теорией вероятностей.

Отказы можно разделить следующим образом:

- по характеру процесса появления – внезапные и постепенные;
- по связи с другими отказами – зависимые и независимые;
- по физической картине процесса – катастрофические и параметрические;
- по степени влияния на работоспособность – полные и частичные.

Внезапный отказ характеризуется скачкообразным изменением параметров под воздействием многих случайных факторов, связанных с дефектами элементов, с нарушениями режимов и условий работы, с ошибками обслуживающего персонала и т.п. При постепенном изменении параметров в результате старения узлов и материалов происходит постепенный отказ.

Отказ какого-либо узла относится к независимым отказам, если он не является следствием отказа других узлов.

Отказы типа пробоя изоляции, короткого замыкания относятся к катастрофическим отказам, которые приводят к полному нарушению работоспособности. Параметрические отказы являются частичными отказами и выражаются в ухудшении качества функционирования изделия.

Кроме того, отказы подразделяются на конструкционные, производственные и эксплуатационные отказы.

В зависимости от условий применения электротехнические изделия могут быть восстанавливаемыми и невосстанавливаемыми.

Восстанавливаемый объект – это объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской документации. Невосстанавливаемый объект не подлежит восстановлению в рассматриваемой ситуации. Следует отметить, что в зависимости от условий рассмотрения один и тот же объект может быть отнесен к тому или иному виду.

Большая часть элементов электроустановок относится к восстанавливаемым после отказа элементам.

2.2. Показатели надежности электрооборудования

Показатель надежности – величина, характеризующая одно или несколько свойств надежности изделия. Если показатели характеризуют одно из свойств надежности, то они называются единичными. Различают единичные показатели безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости. Если показатель характеризует одновременно два (или более) свойств надежности, то он называется комплексным. Наиболее часто комплексные показатели надежности используются для количественной оценки безотказности и ремонтпригодности.

Рассмотрим показатели надежности, рекомендуемые нормативными документами.

2.2.1. Показатели безотказности неремонтируемых объектов

Показателями безотказности неремонтируемых объектов являются: вероятность безотказной работы $P(t)$, средняя наработка до первого отказа T_1 , интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Вероятность безотказной работы определяется в предположении, что в начальный момент времени объект находился в работоспособном состоянии. Обозначим через t заданное время наработки объекта. Возникновение отказа – случайное событие, а наработка τ от начального момента до возникновения отказа – случайная величина. Вероятность безотказной работы $P(t)$ объекта в интервале времени от 0 до t включительно определяется как:

$$P(t) = P(t > \tau). \quad (2.1)$$

Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$P^*(t) = 1 - \frac{n(t)}{N}, \quad (2.2)$$

где N – число объектов, работоспособных в начальный момент времени;
 $n(t)$ – число объектов, отказавших на отрезке от 0 до t .

При этом объем выборки должен быть достаточно велик и при большом числе изделий статистическая оценка $P^*(t)$ практически совпадает с вероятностью $P(t)$.

Наряду с понятием «вероятность безотказной работы» часто используют понятие «вероятность отказа», которое характеризует вероятность того, что объект откажет хотя бы один раз в течение заданной наработки, будучи работоспособным в начальный момент времени. На отрезке времени от 0 до t вероятность отказа определяется по формуле

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (2.3)$$

Если функция $Q(t)$ дифференцируемая, то безотказность можно характеризовать плотностью распределения случайной величины наработки до отказа или частотой отказов $f(t)$:

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{d[1 - P(t)]}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}. \quad (2.4)$$

Достоинством рассматриваемого показателя является возможность судить по его величине о числе изделий, которые могут отказать за определенный интервал времени.

Из определения вероятности безотказной работы видно, что эта характеристика является убывающей функцией времени и изменяется в диапазоне от 1 в начальный момент времени до 0 при $t \rightarrow \infty$.

Такой показатель имеет смысл, если указывается интервал времени, на котором рассматривается безотказность объекта. Если, например, в технических условиях на ремонт электрической машины указывается значение вероятности безотказной работы 0,8 за 9000 ч наработки, то это значит, что из 100 отремонтированных устройств в течение 9000 ч не менее 80 проработают безотказно.

Вероятность безотказной работы входит во многие другие характеристики изделий, учитывает значительное количество факторов, влияющих на надежность, может быть сравнительно просто получена. Однако

для восстанавливаемых систем она характеризует только надежность до первого отказа, по ее значению бывает трудно вычислить другие количественные характеристики надежности. Поэтому вероятность безотказной работы не может полностью характеризовать такое свойство, как надежность, и не может быть с ним отождествлена.

Наработка до отказа. Средней наработкой до отказа называется математическое ожидание наработки объекта до первого отказа T_1 . Через вероятность безотказной работы наработка до отказа вычисляется следующим образом:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (2.5)$$

Статистическую оценку для средней наработки до отказа определяют по формуле

$$T_1^* = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tau_j, \quad (2.6)$$

где N – число работоспособных объектов при $t = 0$,

τ_j – наработка до первого отказа каждого из объектов.

Для определения T_1 необходимо знать время безотказной работы всех испытуемых изделий.

Интенсивность отказов – условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, которая определяется как отношение числа отказов изделия в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N_{cp} \Delta t}, \quad (2.7)$$

где $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$ – среднее число изделий, исправно работающих в интервале Δt ,

N_i, N_{i+1} – соответственно число изделий, исправно работающих в начале и в конце интервала Δt .

Интенсивность отказов является критерием, наиболее полно характеризующим надежность невосстанавливаемых объектов. Этот показатель характеризует надежность элемента в каждый данный момент времени, т. е. его локальную надежность. Интенсивность отказов связана однозначной зависимостью с вероятностью безотказной работы:

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (2.8)$$

В теории надежности интенсивности отказов отводится особая роль, поскольку, зная интенсивность отказов отдельных элементов, можно выполнять расчеты показателей надежности изделия в целом.

Пример 2.1. На испытаниях находилось $N = 1000$ неремонтируемых изделий. Число отказов $n(t)$ фиксировалось через каждые 100 ч работы ($\Delta t = 100$). Ниже в таблице 2.1 приведены данные об отказах.

Таблица 2.1 – Данные об отказах неремонтируемых изделий

$\Delta t_i, \text{ч}$	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000
$n(t)$	50	40	32	25	20	16	15	14	15	14

Требуется определить $P^*(1000)$, $\lambda^*(950)$ и T_1^* .

Решение. 1. Вероятность безотказной работы $P^*(1000) = \frac{1000 - 241}{1000} = 0,759$.

2. Интенсивность отказов $\lambda^*(950) = \frac{14}{100(773 + 759)/2} = 1,82 \cdot 10^{-4}$.

3. Нарботка до отказа

$T_1^* = \frac{50 \cdot 50 + 150 \cdot 40 + 250 \cdot 32 + 350 \cdot 25 + 450 \cdot 20 + 550 \cdot 16 + \dots + 950 \cdot 14}{241} = 371 \text{ч}.$

2.2.2. Показатели безотказности ремонтируемых объектов

Понятие надежности, введенное при рассмотрении неремонтируемых объектов, является в данном случае неполным, т. к. оно не отражает свойство восстанавливаемости.

Процесс эксплуатации ремонтируемых изделий можно представить как последовательное чередование интервалов времени работоспособного и неработоспособного состояний (рисунок 2.1). Появление отказов в таких системах имеет смысл потока требований на ремонт.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru