

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н. И. ВАВИЛОВА»**

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

краткий курс лекций

**Направление подготовки
35.03.06 Агроинженерия**

**Профиль подготовки
Электрооборудование и электротехнологии**

Саратов 2013

УДК 631.37
ББК40.7.
Е78

Рецензенты:

Заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий АПК», доктор технических наук, профессор ФГОУ ВО «Саратовский ГАУ» **В.А. Глухарев**

Надежность электрооборудования: краткий курс лекций для студентов 3 курса направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия /Сост. Ю.Н. Глубокий // ФГОУ ВО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014.

Краткий курс лекций по дисциплине «Надежность электрооборудования» составлен в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначен для студентов направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия. Краткий курс лекций содержит материал по основам надежности электрооборудования: основные методы теории надежности, теории массового обслуживания. Дисциплина надежность электрооборудования направлена на формирование у студентов общепрофессиональной компетенции, выпускник должен обладать способностью, использовать типовые технологии технического обслуживания, ремонта и восстановления изношенных деталей машин.

УДК 631.37

ББК40.7.

Введение

Сельская энергетика реализует потребности в электроэнергии производственной и социальной сферы. Эффективность сельской энергетики оценивается, надежностью и экономичностью работы энергооборудования. А надежность энергооборудования непосредственно обусловлена грамотной эксплуатацией.

Высококвалифицированный специалист должен знать и понимать основные методы теории надежности, теории массового обслуживания, способы комплектования и диагностирования энергоустановок. На основании этих знаний формируются принципы построения эффективных систем технического обслуживания и ремонта, а также основы организации и управления эксплуатацией энергооборудования.

Лекция 1.

Основные понятия и определения теории надежности

В процессе эксплуатации оборудование переходит многократно из одного состояния в другое, как показано на рис. Первое и второе состояния определяются технологическими особенностями оборудования. Например, в сельском хозяйстве, наряду с круглогодичным использованием, часто наблюдается сезонная занятость. Продолжительность хранения и использования достаточно точно определяется производственными характеристиками оборудования.[3]

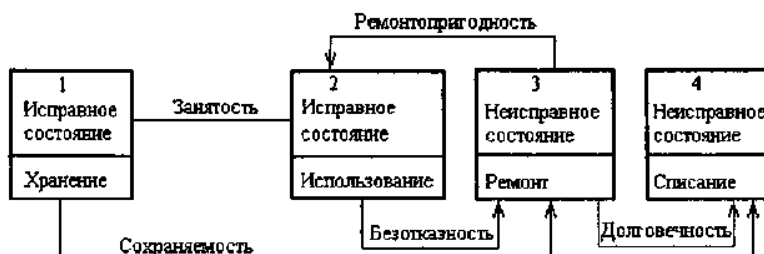


Рис.1 Модель состояния оборудования

Частота перехода оборудования из второго в третье состояние и продолжительность пребывания в ремонте заранее неизвестны. Также нельзя сразу определить частоту перехода в четвертое состояние. Но без этих данных нельзя организовать рациональное техническое обслуживание или ремонт. Такие сведения позволяют получить методы теории надежности.

Во всех сферах деятельности и общения у человека возникает потребность оценить успешность своих действий или применения технических средств. В таких ситуациях возникает интуитивное представление о надежности как об уверенности в осуществлении своих замыслов, о стабильности взаимосвязей и другие различные понятия «надежности». Наука о надежности исключает произвольные толкования, заменяя их четкими понятиями, определениями, и устанавливает количественное описание свойств надежности.

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, ремонтов, хранения и транспортировки (ГОСТ 27.002-83). Можно сказать, что надежность характеризует способность объекта сохранять свои первоначальные качества в процессе эксплуатации.

Теория надежности возникла на стыке ряда научных дисциплин: теории вероятностей и случайных процессов, математической логики, технической диагностики и др. Она изучает закономерности изменения показателей качества объектов с течением времени, а также физическую природу этих изменений. В теории надежности изучение сложного явления изменчивости осуществляется путем использования идеализированных понятий о состояниях, свойствах и событиях и т.п. Приближенная замена реальных явлений и объектов идеализированными моделями позволяет установить количественные связи между интересующими показателями и определить эти показатели с достаточной для практики точностью.[2]

Способность объекта выполнять требуемые функции оценивается несколькими состояниями, в пределах которых параметры объекта остаются постоянными.

- Исправность- состояние объекта, при котором он соответствует всем установленным требованиям.
- Неисправность- состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из указанных требований.
- Работоспособность- состояние соответствия установленным требованиям тех параметров, которые характеризуют способность выполнять указанные функции.
- Неработоспособность- состояние, при котором хотя бы один параметр работоспособности не соответствует установленным требованиям.
- Предельное состояние - состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима по условиям безопасности или нецелесообразна по экономическим критериям.
- Центральным понятием теории надежности служит отказ - событие, заключающееся в потере работоспособности, т.е. переход из работоспособного в неработоспособное состояние. Различают внезапные и постепенные, полные и частичные отказы.
- Внезапные отказы наступают неожиданно, мгновенно из-за внезапной концентрации нагрузки или аварийной ситуации.
- Постепенные отказы возникают под действием постепенного изменения свойств объектов, старения или износа деталей.
- Полный отказ приводит к полной потере работоспособности, а частичный - лишь к утрате отдельных функций объекта.

Объект (в теории надежности) - предмет определенного целевого назначения, в жизненном цикле которого выделяют стадии проектирования, изготовления и эксплуатации. Объектом может быть система или элемент.

Система- это совокупность взаимосвязанных устройств, предназначенная для самостоятельного достижения некоторой цели.

Элемент - часть системы, которая способна выполнять некоторые локальные функции системы.

Представление объекта в виде системы или элемента зависит от постановки задачи и является условной процедурой. Например, при изучении надежности парка электрооборудования предприятия электропривод рассматривается как элемент, а в других случаях он рассматривается как система, в которой выделяется ряд элементов (пусковая аппаратура, устройство защиты, двигатель и т.д.).

В свою очередь элементы и системы, допускающие восстановление работоспособности после отказа, называют восстанавливаемыми, а в противном случае - невосстанавливаемыми (неремонтируемыми). К первому виду относят, например, трансформаторы и двигатели, а ко второму - электроосветительные лампы и трубчатые нагреватели. Таким образом, элементы (системы), изучаемые в теории надежности, имеют три главных признака, характеризующих: природу отказов (внезапные и постепенные); виды отказов по их последствиям (полные и частичные); приспособленность к ремонту (ремонтируемые и неремонтируемые).

В зависимости от сочетания этих признаков элементы (системы) разделяют на простые и сложные. Простым принято считать такой элемент, который имеет внезапные, полные отказы и является неремонтируемым. Сложный элемент имеет наряду перечисленными и ряд дополнительных признаков, т.е. он имеет внезапные и постепенные отказы (или только

постепенные), отказы могут быть частичными, их последствия могут устраняться в процессе ремонта.

При изучении надежности объекта как способности сохранять свои параметры в процессе эксплуатации возникает необходимость оценивать стабильность этих параметров на разных этапах эксплуатации, приспособленность к ремонту и ряд других признаков. Поэтому надежность является сложным, комплексным свойством и включает ряд более простых свойств (в отдельности или в определенном сочетании):

- безотказность- свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени;
- долговечность - свойство объекта сохранять работоспособность объекта до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта;
- ремонтпригодность - приспособленность к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов (повреждений), к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов;
- сохраняемость - свойство объекта сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности во время хранения или транспортировки;
- устойчивость - способность объекта переходить при различных возмущениях от одного устойчивого режима к другому;
- живучесть- свойство системы противостоять крупным возмущениям, не допуская развития аварий.

На практике различают конструктивную и эксплуатационную надежность. Первая из них характеризует свойства объекта, заложенные при его проектировании и изготовлении. Эти свойства иногда называют номинальной надежностью, которая определяет способность к стабильному функционированию в типовых (номинальных) условиях эксплуатации.

Под эксплуатационной понимается надежность, наблюдаемая в условиях эксплуатации с учетом всей совокупности воздействий: дестабилизирующие факторы окружающей среды, реальные режимы использования, качество технического обслуживания и ремонтов.

Задачи эксплуатационной надежности приобрели большую актуальность в связи с тем, что многие виды электрооборудования сельскохозяйственных предприятий, имея достаточно высокие показатели конструктивной надежности, по эксплуатационным показателям не отвечают требованиям производства. Так, двигатели серии 4А рассчитаны на безотказную работу в течение 10 лет, а фактическое время безотказной работы до капитального ремонта составляет в животноводстве 3,5 года, в растениеводстве - 4 года, на подсобных предприятиях - 5 лет.

Вопросы для самоконтроля

1. Роль надежности электрооборудования в с.х. производстве.
2. Техническое состояние электрооборудования.
3. Переход электрооборудования из одного технического состояния в другое
4. Составляющие надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.

в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Coogole:

Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>
<http://www.gosthelp.ru/>
<http://snipov.net/>
[http://www.master.donntu.edu.ua.](http://www.master.donntu.edu.ua)
<http://www.cfin.ru/>

Лекция 2

Оценка технического состояния электрооборудования

Показатели надежности служат для количественной оценки уровня надежности объекта, т.е. являются единицами измерения надежности. Они позволяют количественно сравнивать надежность различных объектов между собой или надежность одного и того же объекта в разных условиях либо на разных этапах эксплуатации. По признаку ремонтпригодности выделяют дополнительно показатели для восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов. Кроме того, показатели могут быть единичными и комплексными. Единичный показатель относится к одному из свойств, а комплексный - к нескольким свойствам.[1,8]

ГОСТом устанавливается более 20 единичных и около 10 комплексных показателей, в том числе 7 показателей безотказности, 8 - долговечности, 2 - ремонтпригодности и т.д. Введение показателей надежности основывается на рассмотрении эксплуатации как процесса случайного изменения свойств объекта в виде последовательного чередования его работоспособного и неработоспособного состояний. Другими словами, процесс изменения свойств объекта является потоком случайных дискретных изменений состояний. При таком представлении мерой надежности выступают характеристики перехода объекта из одного состояния в другое. Они позволяют определить, как часто осуществляются переходы, как долго объект находится в работоспособном и неработоспособном состояниях, какова вероятность наступления этих событий и т.д.[2]

Показатели безотказности - это такие показатели, которые оценивают способность объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени (некоторой наработки). Их содержание поясняет следующий пример.

Предположим, что в эксплуатацию своевременно введено $N(0)$ ламп накаливания и поставлена задача найти количественные показатели их безотказности. Параметром работоспособности лампы служит ее световой поток. Лампа работоспособна, когда создаваемый ею световой поток находится в допустимых пределах от номинального значения. Выход параметра за пределы допустимого отклонения означает наступление отказа лампы.[5]

Результаты наблюдения за изменением светового потока каждой лампы (рис.1) показывают, что для некоторых из них характерно медленное, а для других - резкое снижение светового потока. Моменты отказов наступают случайно. Продолжительности безотказной работы образуют группу случайных величин

С разбросом от $t_{\min}$ до $t_{\max}$.

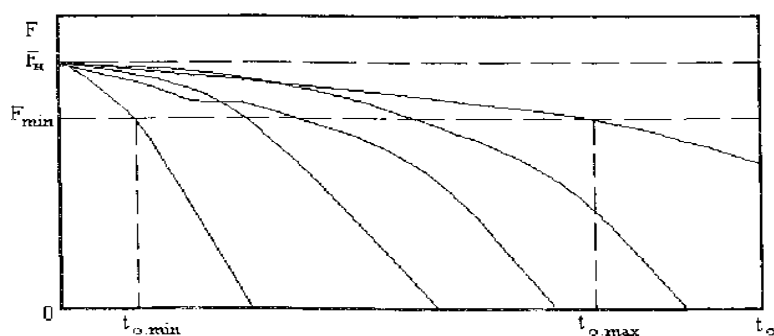


Рис.1. . Результаты наблюдения за изменением светового потока ламп

Количественное описание группы данных о безотказности возможно с помощью следующего минимального состава показателей: вероятность безотказной работы в течение некоторого времени « t » ($t_{\min} < t < t_{\max}$), интенсивность отказов и средняя наработка до первого отказа.

Вероятность безотказной работы - вероятность того, что в пределах заданного времени (наработки) не возникнет отказа. Математическая запись этого показателя соответствует вероятности того, что продолжительность безотказной работы « T » будет больше заданного времени « t » - $p(t) = P(T > t)$. Вероятность безотказной работы является численной мерой объективной возможности успешной работы объекта в течение интересующего нас периода времени « t_i ».

Если в рассматриваемом примере $N(0)$ ламп, пущенных в эксплуатацию при $t=0$, после некоторого времени « t » сохранили свою работоспособность $N(t_1)$, а отказало $m(t_1) = N(0) - N(t_1)$ ламп, то статистическая вероятность безотказной работы за время t находится из классического определения вероятности события:

$$\hat{p}(t_1) = \frac{N(t_1)}{N(0)} = 1 - \frac{m(t_1)}{N(0)}$$

где $m(t_1)$ - число отказов объектов за время t ;

$N(0)$ - число объектов в начале наблюдения.

Пусть $N(0)=1000$ ламп. Наблюдения показали, что через $t_1 = 1\ 000$ часов сохранили работоспособность $N(t_1)=950$ ламп, а через $t_2=2\ 000$ часов - $N(t_2)=450$ ламп. Тогда

$$\hat{p}(t_1) = \frac{950}{1000} = 0,95; \quad \hat{p}(t_2) = \frac{450}{1000} = 0,45.$$

Вероятность безотказной работы за время « t » численно равна доле объектов, сохраняющих работоспособность за это время. Иногда используют понятие вероятности отказа $q(t)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки возникнет отказ. Событие отказа является противоположным событию безотказной работы. Поэтому вероятность отказа определяется так:

$$\hat{q}(t) = 1 - \hat{p}(t) = \frac{m(t)}{N(0)}.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Отказы, причины возникновения отказов, закономерности, классификация
2. Модель состояния электрооборудования
3. Переход электрооборудования из одного технического состояния в другое

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.

3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.

в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:

Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>
<http://www.gosthelp.ru/>
<http://snipov.net/>
[http://www.master.donntu.edu.ua.](http://www.master.donntu.edu.ua)
<http://www.cfin.ru/>

Лекция 3.

Составляющие надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.

Средняя наработка до отказа - это математическое ожидание наработки объекта до первого отказа. По статистическим данным эксплуатации или испытаний этот показатель вычисляют по следующей формуле:

$$\hat{t}_0 = \sum_{i=1}^{N_0} \frac{t_i}{N(0)},$$

где t_i - наработка (продолжительность безотказной работы) i -го элемента до первого отказа;

$N(0)$ - число испытываемых элементов.

В рассматриваемом примере $t_1=1000$; $N(1)=950$; $t_2=2000$; $N(2)=450$. Тогда по (1) находим:

$$t_{cp} = \frac{950 - 2000 + 450 - 1000}{1000} = 1850$$

Для восстанавливаемых объектов вместо наработки до отказа используют показатель *средней наработки на отказ* как среднюю продолжительность (наработку) между отказами:

$$\lambda(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(H_2) - \sum_{i=1}^N m_i(H_1)}{N_n(H_1)(H_2 - H_1)},$$

где $\sum_{i=1}^N m_i(H_2)$; $\sum_{i=1}^N m_i(H_1)$ - число отказов объектов N от начала наблюдений до наработки H_2 и H_1 соответственно;

$N_n(H_1)$ - число исправных объектов от начала наблюдений до наработки H_1

$(H_2 - H_1)$ - изучаемый интервал наработок.

Возвращаясь к лампам накаливания, имеем $\sum_1^{1000} m(1000) = 50$;

$$\sum_1^{1000} m(2000) = 550; N_n(1000)=950; (H_2-H_1)=2000-1000=1000.$$

Тогда 1 по (2) находим:

$$\lambda(t) = \frac{550 - 50}{950 \times 1000} = 0,51 \times 10^{-3} \text{ 1/ч.}$$

Интенсивность отказов характеризует стабильность свойств объекта и показывает скорость снижения вероятности безотказной работы. Для восстанавливаемых объектов интенсивность отказов не всегда правильно характеризует свойство безотказности. Дело в том, что в отличие от невосстанавливаемых объектов, у которых моменты появления отказов образуют группу случайных величин, для ремонтируемых объектов эти моменты образуют поток случайных событий. Поэтому для восстанавливаемых объектов вместо интенсивности отказов используют параметр потока отказов - среднее число отказов, приходящихся на единицу наработки:

$$w(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{m_i}{H_i},$$

где m_i ; - число отказов i -го элемента;

H_i - наработка i -го элемента за время наблюдений.

Показатели ремонтпригодности. Ремонтпригодность по ГОСТ 27301 - приспособленность к предупреждению и обнаружению причин его отказов и устранению их последствий путем проведения технического обслуживания и ремонтов. Конструктивная ремонтпригодность характеризует лишь техническую сторону восстанавливаемости объекта. Эксплуатационная ремонтпригодность характеризует дополнительно быстроту восстановления и зависит от квалификации обслуживающего персонала, а также его материально-технического обеспечения.

Вопрос о процессе восстановления был затронут при рассмотрении безотказности ремонтируемых элементов. Там предполагалось, что все отказы будут устраняться мгновенно. На самом деле устранение каждого отказа происходит в некотором интервале времени, значение которого является случайной величиной.

Таким образом, процесс восстановления является потоком случайных событий.

Вопросы для самоконтроля

1. Средняя наработка на отказ
2. Показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости, получаемые по статистическим данным
3. Параметр потока отказов

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.

в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:

Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>

Лекция 4.

Модель состояния электрооборудования

Среднее время восстановления - это математическое ожидание продолжительности восстановления работоспособности после отказа элемента:

$$t_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{Bi},$$

где t_{Bi} - время восстановления работоспособного состояния i -го объекта;

m - число обнаруженных и устраненных отказов.

Эта величина зависит от многих факторов: характера отказа, условий его отыскания и устранения, квалификации специалистов и т.п. Поэтому важно знать не только среднюю величину, но и другие вероятностные характеристики.

Вероятность восстановления работоспособного состояния:

$$P_B(t) = P(t_B < t),$$

где t - заданное время устранения отказа.

Интенсивность восстановления - количество ремонтов (устраненных отказов) в единицу времени:

$$\mu(t) = \frac{n}{\sum_{i=1}^n t_{Bi}},$$

где n - число восстановленных элементов;

t_{Bi} - продолжительность восстановления i -го элемента.

Показатели долговечности. Безотказность элемента, характеризуя непрерывность сохранения работоспособности, не отвечает на вопрос, как долго может или должен функционировать объект. Чтобы получить ответ, надо учесть особые свойства элемента, характеризующие длительность сохранения работоспособности, т.е. долговечность.

Под долговечностью понимается свойство элемента сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при соблюдении системы технического обслуживания и ремонта. Для невосстанавливаемых элементов значение долговечности совпадает с временем их эксплуатации до отказа. Количественными оценками долговечности является срок службы и ресурс.

Средний срок службы - это средняя календарная продолжительность службы объектов. Различают средний срок службы до первого капитального ремонта и между капитальными ремонтами.

Средний срок службы до списания - это средняя календарная продолжительность эксплуатации до предельного состояния.

Гамма-процентный срок службы - средняя календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ процентов.

Ресурсом называют наработку объекта от начала эксплуатации или после ремонта до наступления предельного состояния. По аналогии со сроком службы различают средний ресурс и гамма-процентный ресурс.

Показатели сохраняемости характеризуют свойство элемента сохранять эксплуатационные качества во время хранения и транспортировки. Для этого используют средний срок сохраняемости $\langle T_x \rangle$ и интенсивность отказов при хранении $\langle \lambda_x \rangle$. Как видно по определению и по показателям, свойство сохраняемости может рассматриваться как специфический случай безотказности в период хранения и транспортировки. В сельском хозяйстве большая часть энергетического оборудования занята в течение года от двух до шести месяцев, а остальное время не используется. Для такого оборудования свойство сохраняемости имеет первостепенное значение.

Вопросы для самоконтроля

1. Показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости
2. Среднее время восстановления Вероятность восстановления работоспособного состояния

3. Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN 5-7399-0016-6.

4. б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.

в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Coogle:

Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>

Лекция 5.

Комплексные показатели надежности

Комплексные показатели надежности. Коэффициент готовности характеризует готовность объекта к функционированию, т.е. к применению по назначению:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_B},$$

где T_o - средняя наработка на отказ;

T_B - среднее время восстановления.

Можно показать, что коэффициент готовности - это вероятность застать объект в работоспособном состоянии в произвольный момент времени (без учета простоя по организационным причинам). Коэффициент оперативной готовности характеризует готовность объекта к функционированию с учетом простоев по организационным причинам:

$$K_{o.e} = \frac{T_o}{T_o + T_B + T_{орг}},$$

где $T_{орг}$ - простои по организационным причинам: вызов ремонтных бригад, доставка запасных частей и т.п.

Коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения объекта в работоспособном состоянии с учетом простоя объекта на всех видах технического обслуживания и ремонта

$$K_{ТИ} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{ТО}} + t_{\text{рем}}},$$

где $t_{\text{сум}}$ - суммарная наработка;

$t_{\text{ТО}}$, $t_{\text{рем}}$ - суммарное время пребывания в обслуживании и ремонте.

Все перечисленные показатели можно использовать для оценки системы сельского электроснабжения. Но для этой системы главное требование - способность в любой момент времени снабжать электрической энергией присоединенных к ней потребителей. Поэтому основными показателями надежности принято считать *число (n) и длительность (T_0) отключений*.

Отключения сельских сетей вызываются различными причинами и могут быть случайными (внезапными) или преднамеренными (плановыми). Такое деление отражает не только природу наступления отключений (первые возникают при аварийных ситуациях, а вторые осуществляет обслуживающий персонал в плановом порядке), но и последствия, которые наступают у потребителя при перерывах в электроснабжении. Аварийные отключения из-за своей неожиданности всегда приносят больший ущерб, чем плановые. Для учета этих особенностей вводят понятие эквивалентной продолжительности отключений

$$T_3 = T_{ав} + \gamma T_{пл},$$

где $T_{ав}$, $T_{пл}$ - продолжительности аварийных и плановых отключений, соответственно;

γ - коэффициент, учитывающий меньшую тяжесть плановых отключений ($\gamma=0,1...0,4$).

Вопросы для самоконтроля

1. Комплексные показатели надежности.
2. Коэффициент готовности
3. Коэффициент оперативной готовности
4. Эквивалентная продолжительность отключений
5. Коэффициент технического использования

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.

в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:

Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>

Лекция 6.

Применение теории вероятности для исследования надежности

Надежность оборудования зависит от большого числа факторов различной природы. Поэтому показатели надежности являются случайными величинами, т.е. такими, которые могут принять то или иное значение, неизвестное заранее. Такие величины и процессы изучает теория вероятностей, где понятие вероятность - это объективная мера (математическая оценка) возможности реализации случайного события или случайной величины.

Простейшее вероятностное описание случайной величины осуществляется точечными характеристиками:

$x_{\min} \dots x_{\max}$ - интервал возможных значений;

$\bar{x} = M[x]$ - математическое ожидание (средняя величина);

$\sigma^2 = M[x_i - \bar{x}]^2$ - дисперсия - математическое ожидание квадрата отклонения величины от среднего значения;

$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$ - среднее квадратичное отклонение;

$\nu_x = \frac{\sigma}{\bar{x}}$ - коэффициент вариации.

Полное описание случайной величины осуществляют законами (функциями) распределения. Они устанавливают соответствие между конкретными значениями случайной величины и вероятностью ее появления. Различают интегральные и дифференциальные функции распределения. Интегральная функция (рис. 1) показывает, что для каждого числа x в диапазоне случайной величины «X» существует определенная вероятность $P(X < x)$, что «X» не превосходит «x».

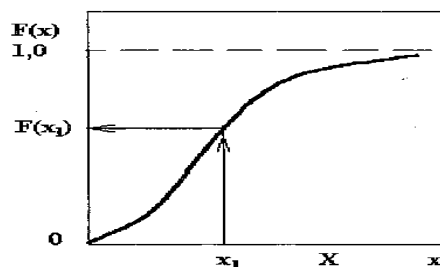


Рис. 1. Интегральная функция

Дифференциальная функция характеризует частоту повторения данных значений случайной величины. Она является производной от интегральной функции $f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$ и называется плотностью распределения.

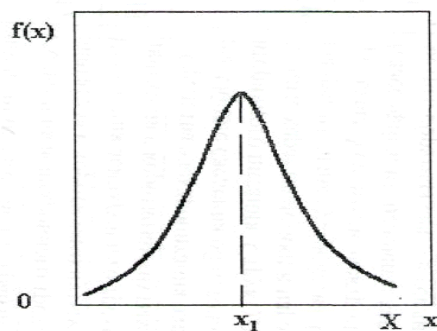


Рис. 7.4. Дифференциальная функция

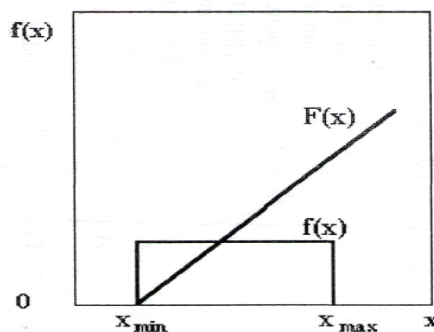


Рис.2 Равномерное распределение

Функции распределения могут иметь самый разнообразный вид. Но в теории вероятностей обычно используют типовые(функции) законы распределения: равномерный, нормальный, экспоненциальный, Пуассона, Вейбулла и т.п.

Равномерное распределение (рис. 2) описывает такие случайные величины, у которых частота появления не зависит от значения величины в интервалах $X_{\min} \dots X_{\max}$. Например, по такому закону распределены вероятности выпадения числа от 1 до 6 при бросании шестигранного кубика.

Вопросы для самоконтроля

1. Показатели надежности восстанавливаемых систем.
2. Теория вероятности для исследования надежности.
3. Взаимосвязь между основными показателями надежности.
4. Основной закон надежности.

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.

3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.
- в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:
- Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>

Лекция 7.

Использование основных законов распределения.

Закон нормального распределения (рис.6) получил наибольшее распространение, т.к. он достаточно полно описывает случайные величины массовых явлений. Значения этих величин зависят от большого числа равно влияющих факторов и обычно равномерно распределяются вокруг среднего значения. Закон экспоненциального распределения (рис.6) описывает такие случайные величины, у которых вероятность появления меньших значений всегда выше, чем больших.

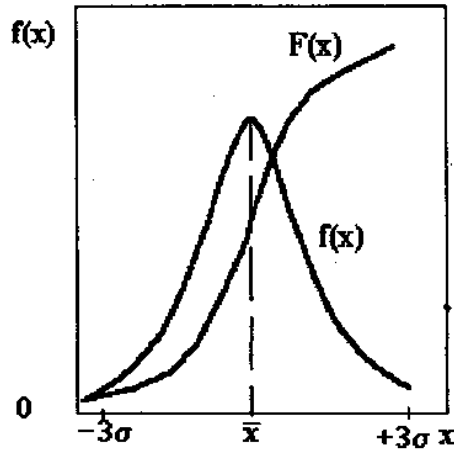


Рис.1. Закон нормального распределения

В теории надежности чаще всего используют экспоненциальный закон. Вероятность безотказной работы тождественно равна вероятности появления случайной величины со значением

$t > t_i - P(t > t_i) = \int_{t_i}^{\infty} f(t) dt$. Интенсивность отказов по определению аналогична плотности распределения случайной величины

$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$. Средняя наработка на отказ $T_0 = M[t] = \int_0^{\infty} t f(t) dt$.

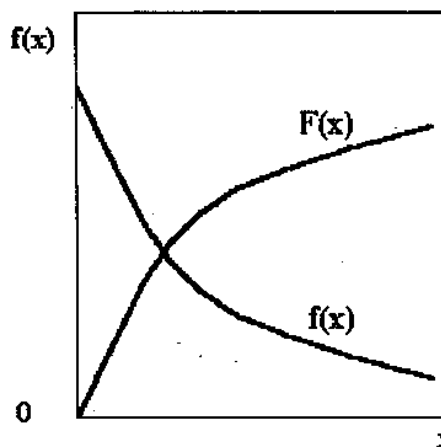


Рис.2 . Закон экспоненциального распределения

Основной закон надежности. Теория вероятностей позволяет установить аналитическую связь между основными параметрами надежности. Математическое описание этой зависимости называют основным законом надежности.

Из определения интенсивности отказов и плотности распределения случайной величины получим дифференциальное уравнение для произвольной функции распределения:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, f(t) = -\frac{dP(t)}{dt}, \lambda(t) = -\frac{dP(t)}{P(t)dt}.$$

Разделим переменные $\frac{dP(t)}{P(t)} = -\lambda(t)dt$ и решим уравнение

$$\int_0^t \frac{dP(t)}{P(t)} = -\int_0^t \lambda(t)dt; \ln P(t) = -\int_0^t \lambda(t)dt; P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}.$$

Вероятность безотказной работы любого изделия убывает со временем со скоростью, зависящей от интенсивности отказов. При $t=0$ $P(t)=1$; при $t \rightarrow \infty$ $P(t)=0$.

При экспоненциальном распределении основной закон надежности характеризуется постоянным значением интенсивности отказов $\lambda(t)=\text{const}$. При этом средняя наработка на отказ

$$T_0 = \frac{1}{\lambda(t)}.$$

С учетом этих зависимостей из (4) имеем

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{T_0}}$$

Снижение вероятности безотказной работы изделия однозначно распределяется средней наработкой на отказ. Например, через период $t=T_0$ вероятность безотказной работы снижается до $P(T_0) = 0,37$. Другими словами, за период $t=T_0$ остаются исправными 37% изделий, а остальные 63% откажут.

Вопросы для самоконтроля

1. Взаимосвязь между основными показателями надежности.
2. Основной закон надежности.
3. Частные случаи использования основного закона
4. Экспоненциальное распределение

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.

2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.
 - в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Coogle:
Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>

Лекция 8.

Частные случаи использования основных законов распределения

Основной закон надежности в линейной форме. В отдельных эксплуатационных ситуациях, когда мала интенсивность отказа изделий или изучается малый промежуток времени, можно использовать не экспоненциальную, а линейную форму основного закона надежности. Запишем:

$$P(t) = e^{-\lambda t} = 1 - \lambda(t) + \frac{\lambda(t)^2}{2!} - \frac{\lambda(t)^3}{3!} + \dots$$

Пренебрегая членами высшего порядка малости, получим линейную форму

$$P(t) = 1 - \lambda \cdot t \text{ или } P(t) = 1 - t/T_0 \quad \bullet$$

Анализ показал, что для изделий, имеющих $\lambda t < 0,2$, погрешность расчета по упрощенной формуле не превышает 5% по сравнению с экспоненциальной формулой.

Рассмотрим пример, поясняющий сказанное. Изделие имеет

$\lambda = 0,001$ 1/ч. Определим вероятность безотказной работы по уравнениям (5) и (6) за 300 и 500 часов эксплуатации.

Средняя наработка на отказ $T_0 = 1/\lambda(t) = 1/0,001 = 1000$ часов;

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,001 \cdot 300} = 0,741,$$

$$\text{или } P(t) = 1 - \lambda \cdot t = 1 - t/T_0 = 1 - 0,001 \cdot 300 = 0,700.$$

Если $t = 500$ часов, то $P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,001 \cdot 500} = 0,607$.

Или $P(t) = 1 - \lambda \cdot t = 1 - t/T_0 = 1 - 0,001 \cdot 500 = 0,500$.

Простейшие методы расчета надежности

Теория надежности определяет общие закономерности изменения эксплуатационных свойств оборудования. Эти закономерности имеют важное значение для решения общих задач, связанных с выбором схем электроустановок, режимов их использования, стратегии обслуживания и т.п. Для решения инженерных задач необходимо иметь численные значения показателей надежности.

Основной закон надежности устанавливает связь между тремя показателями. Если известны два из них, то третий легко определяется из этого закона. Простейшие методы расчета надежности рассмотрим, решая задачи.

Задача 1. В технических условиях на асинхронные электродвигатели серии 4А указана вероятность безотказной работы $P(t) = 0,9$ за 10 000 часов наработки. Необходимо определить интенсивность отказов.

Принимаем экспоненциальное распределение отказов и записываем основной закон надежности $P(t) = e^{-\lambda t}$. Отсюда находим

после логарифмирования $\lambda t = \ln P(t)$; $\lambda = [\ln P(t)]/t = (\ln 0,9)/10000 = 1,05 \cdot 10^{-5}$ 1/ч.

Примем линейную форму закона и определим интенсивность отказов. $P(t) = 1 - \lambda t$; $\lambda t = 1 - P(t)$; $\lambda = (1 - 0,9)/10000 = 10^{-5}$ 1/ч. Как видим, погрешность расчета по упрощенной формуле не превышает 5%.

Вопросы для самоконтроля

1. Частные случаи использования основного закона –
2. Экспоненциальное распределение, распределение Вейбулла-Гнеденко, нормальное распределение.
3. Основные свойства, параметры и характеристики, область применения.
4. Основные понятия и определения теории надежности.
5. Отказы, причины возникновения отказов.
6. Показатели надежности: безотказность, долговечность,
7. ремонтпригодность, сохраняемость.

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.

в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:

Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>

Лекция 9.

Классификация методов расчета надежности

Системы, как отмечалось, представляют собой совокупности множества элементов. Определение показателей надежности системы является более сложной задачей, чем определение надежности отдельного элемента. Для ее решения разработаны разнообразные методы. Классификация методов еще окончательно не сформировалась. Все методы определения надежности предполагают моделирование системы. Приемы построения модели в известной степени характеризуют и методы расчета надежности и могут составить основу их классификации.

Первую группу составляют расчеты по основным теоремам вероятности на основе структурно-функциональных схем системы. Вторая группа - методы теории марковских процессов, моделирующих динамику изменения состояний системы. Третья группа - статистическое моделирование случайного процесса перехода системы от состояния к состоянию (метод Монте-Карло).

Расчет структурной надежности. Под структурной надежностью системы понимают результирующую надежность при заданной структуре и известных значениях надежности всех входящих в нее элементов. При этом выделение элементов из системы осуществляется на базе единства функционирования и физических процессов, происходящих при работе объекта. Все возможные технические связи между элементами в смысле надежности могут образовать либо последовательные, либо параллельные соединения.

Расчет надежности при последовательном соединении элементов. Функциональные связи элементов системы, при которых отказ системы наступает при отказе хотя бы одного из элементов, называют последовательным соединением. Например, электрическая машина практически всегда представляется в виде последовательного соединения узлов (элементов).

Пусть имеется последовательная цепь из элементов, для каждого из которых известны вероятности безотказной работы $p_i(t)$ и интенсивности отказов $\lambda_i(t)$. Считая первичные отказы элементов' независимыми событиями, вероятность безотказной работы всей системы определяется по теореме умножения вероятностей:

$$P(t) = p_1(t) \cdot p_2(t) \cdot \dots \cdot p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t).$$

При показательном законе распределения отказов вероятность безотказной работы определяется из выражения

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t_i}.$$

Для закрепления материала определим вероятность безотказной работы машины постоянного тока. На структурной схеме она представлена коллекторно-щеточным узлом ($p_k=0,92$), подшипниками ($p_n=0,95$), обмоткой якоря ($p_{я}=0,99$), обмоткой возбуждения ($p_v=0,99$); все данные приведены к наработке $t=5\,000$ часов.

Выход из строя любого из названных элементов приводит к отказу машины. Значит, структурная схема надежности представляет собой последовательную цепь из четырех элементов. Находим искомый ответ: $P_k P_n P_{я} P_v = 0,92 \cdot 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,99 = 0,856$.

При последовательном соединении надежность системы всегда ниже надежности самого ненадежного элемента.

Расчет надежности при параллельном соединении элементов. Функциональные связи элементов, при которых отказ системы наступает только при отказе всех элементов, называют параллельным соединением. Примерами таких систем служат двух трансформаторная подстанция, двух цепная линия электропередачи и т.п.

Если система состоит из «m» параллельно соединенных элементов с известными показателями надежности $p_j(t)$ и независимыми отказами, то правило умножения вероятностей можно применить к вероятности отказа системы

$$Q(t) = q_1(t) \cdot q_2(t) \cdot \dots \cdot q_n(t) = \prod_{j=1}^n q_j(t).$$

Поскольку $q_j(t) = 1 - p_j(t)$, из (7.9) находим вероятность безотказной работы

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^n q_j(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - p_j(t)).$$

При показательном законе распределения отказов и равно-надежных элементах получим

$$P = 1 - (1-p)^m.$$

При параллельном соединении элементов вероятность безотказной работы системы всегда выше надежности самого надежного элемента. С ростом числа параллельных ветвей вероятность безотказной работы стремится к единице. Параллельное и последовательное соединение элементов в смысле надежности часто совпадает с таким соединением в смысле электрической цепи. Однако это совпадение необязательно.

Например, две параллельно работающие на одного потребителя различные линии электропередачи, при пропускной способности каждой линии больше нагрузки потребителя, могут рассматриваться соединенными в смысле надежности параллельно, а при пропускной способности каждой линии меньше нагрузки потребителя - последовательно.

Другой пример: два последовательно включающихся аппарата защиты от перегрузки в смысле надежности образуют параллельное соединение, потому что по своему функциональному назначению - разрыв цепи - они дублируют друг друга. Параллельные соединения называют резервированием.

Вопросы для самоконтроля

1. Классификация методов расчета надежности.
2. Простейшие и коэффициентные методы расчета.
3. Метод структурных схем расчета надежности.
4. Последовательное и параллельное соединение элементов в структурной схеме надежности.
5. Экспериментальный метод расчета.

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.

3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
 2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
 3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.
- в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Coogle:
- Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>

Лекция 10.

Расчет надежности при последовательном и параллельном соединении элементов

Расчет надежности при параллельно-последовательном (смешанном) соединении.

Многие системы имеют смешанное соединение, когда общее функционирование определяется последовательным и параллельным соединением элементов.

На рис.1 показана структурная схема, состоящая из «m» параллельных цепей, каждая из которых состоит из «n» последовательно соединенных элементов. Такие схемы моделируют системы с общим резервированием.

Для расчета схемы надо вероятность p_j выразить через вероятность последовательной цепи:

$$P_o = 1 - \prod_{j=1}^m \left(1 - \prod_{i=1}^n p_i \right).$$

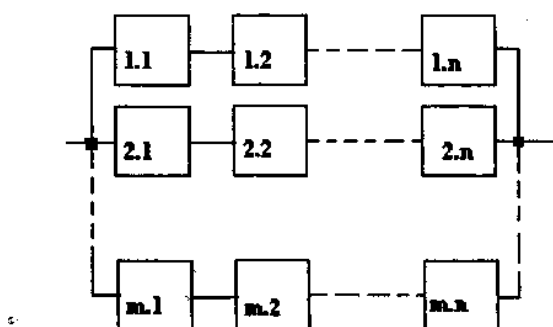


Рис. 1. Структурная схема последовательно соединенных «n» групп, состоящих из «m» параллельно включенных элементов

Если считать, что вероятность безотказной работы всех элементов одинакова, то результирующая надежность схемы определяется следующим выражением:

$$P_o = 1 - (1 - p^n)^m.$$

Анализ показывает, что вероятность безотказной работы системы с общим резервированием при большом числе последовательно соединенных элементов в ветви уменьшается до нуля даже в случае увеличения до бесконечности числа параллельных ветвей.

На рис. 2 показана структурная схема, в которой последовательно соединены «n» групп, состоящих из «m» параллельно включенных элементов. Такие схемы называют раздельным резервированием.

В данном случае надежность отдельной группы определяется

выражением $P_p = \prod_{i=1}^n \left(1 - \prod_{j=1}^m q_j \right)$. Для системы из равно надежных элементов это выражение

принимает вид $P_p = (1 - q^m)^n$. Отсюда следует, что вероятность безотказной работы системы приближается к единице при безграничном увеличении числа резервирующих элементов в группах, даже если число последовательно соединенных групп стремится к бесконечности.

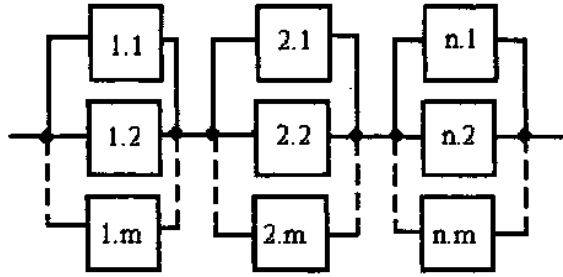


Рис. 2. Структурная схема смешанной цепи

Для сравнения эффективности рассмотренных способов резервирования найдем вероятности отказов

$$Q_0 = [1 - (1 - q)^n]^m \text{ и } Q_p = [1 - (1 - q^m)^n].$$

Раскладывая, эти вероятности в степенные ряды и учитывая, что $q \ll 1$, получим упрощенные формулы

$$Q_0 = n^m q^m \text{ и } Q_p = n \cdot q^m, \text{ тогда } Q_0 / Q_p = n^{m-1}$$

Из полученного результата следует, что при общем резервировании вероятность появления отказа всегда больше, чем при раздельном. Другими словами, при раздельном резервировании безотказность тем больше, чем выше кратность резервирования, чем больше элементов в последовательной цепи.

Пример. Пускорегулирующая аппаратура представлена структурной схемой надежности (рис. 3). Вероятности безотказной работы каждого элемента указаны на рис.3. Определить вероятность безотказной работы всей схемы в целом.

Для решения выделим блоки элементов и определим для них вероятности безотказной работы:

- блок смешанного соединения - А

$$P_A = 1 - (1 - 0,9^3)^2 = 0,93;$$

• блок параллельного соединения - С

$$P_C = 1 - (1 - p)^m = 1 - (1 - 0,9)^3 = 0,994.$$

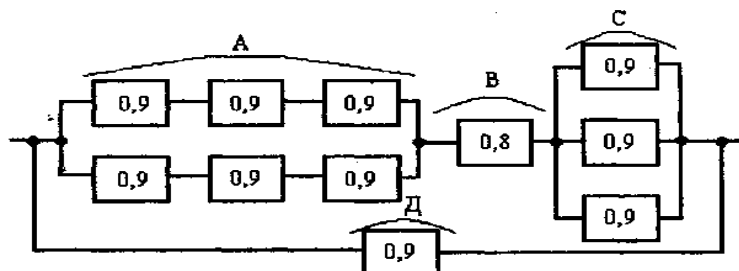
• блок не резервируемый и $P_B = 0,8$.

Определим вероятность безотказной работы цепочки пуско-регулирующей аппаратуры:

$$P_{ABC} = P_A P_B P_C = 0,93 \cdot 0,80 \cdot 0,994 = 0,74.$$

Определим вероятности безотказной работы всей системы (двух параллельных цепей):

$$P = 1 - (1 - P_{ABC})(1 - P_D) = 1 - (1 - 0,74)(1 - 0,90) = 0,974$$



Вопросы для самоконтроля

1. Метод структурных схем расчета надежности
2. Последовательное и параллельное соединение элементов в структурной схеме надежности
3. Последовательное и параллельное соединение элементов в структурной схеме надежности
4. Последовательное и параллельное соединение элементов в структурной схеме надежности

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб. пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
 2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
 3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб. пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.
- в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:

Электронная библиотека СГАУ – <http://libaru.sgay.ru>

Лекция 11.

Методы определения надежности

Существуют два основных метода определения надежности: экспериментальный и коэффициентный. Экспериментальный метод применяется при определении надежности нового оборудования, а коэффициентный метод применяется при определении надежности уже работающего оборудования.

Экспериментальный метод дает наиболее полное представление о надежности оборудования, о причинах отказов, о слабых звеньях и способах повышения надежности. Однако для получения достоверных экспериментальных данных часто необходимо затрачивать много времени и привлекать другие значительные ресурсы. Самый доступный источник экспериментальных данных - это систематические или специально спланированные наблюдения при нормальной эксплуатации оборудования. Для реализации такого метода необходима дополнительная подготовка персонала, благодаря которой исключаются неправильное заполнение донесений об отказе оборудования, неполные сведения об условиях эксплуатации или ошибки в обработке данных.

Планирование эксплуатационных испытаний или наблюдений необходимо выполнять в следующей последовательности: установить признак отказа объекта. Например, для лампы накаливания это может быть снижение светового потока на 15% при номинальном напряжении или перегорание нити накала; для электродвигателя - нагрев изоляции выше класса нагревостойкости или перегорание обмотки, или заклинивание ротора и т.п.;

- выбрать определяющий показатель надежности для изучаемого объекта. Например, если оборудование, предназначено для использования в течение определенного времени или оперативного применения, определяющим показателем служит вероятность безотказной работы; для объектов, потеря работоспособности которых влечет большой ущерб, на первое место выходит интенсивность отказов;
- определить условия испытаний по электрическим нагрузкам, режимам работы, окружающей среде и т.п.;
- установить способ контроля работоспособности: обычный, непрерывный, периодический;
- определить число изучаемых объектов N (по ГОСТ 27.502-88; по нижеприведенной методике);
- выбрать способ замены отказавших объектов. ГОСТ 27.002-83 устанавливает три плана замен: U - не заменяются; R - заменяются немедленно; M - восстанавливаются в ходе испытаний;

выбрать правило окончания испытаний. ГОСТ 27.002-83 предусматривает следующие варианты: T - после истечения заданного времени; $г$ - после наступления $г$ -го отказа; T_{Σ} - после заданной наработки; $г_{\Sigma}$ - после отказа всех объектов.

Планы испытаний на надежность обозначают условно в виде букв: [NUT], [NUR], [NRT] и т.д. Первая позиция обозначает объем выборки, вторая - способ замены отказавших объектов, третья - правило окончания испытаний. Например, план испытаний на надежность имеет вид $[NUM(\tau_0, \tau_3)]$, в этом случае $N=1$, т.е. испытывается одно изделие, которое восстанавливается после каждого отказа, испытания продолжаются до достижения $г_0$ отказов или наработки τ_3 . В случае, когда число отказов $г$ (за наработку $\tau < \tau_3$) достигает $г_0$, испытания на надежность прекращаются и принимается решение о несоответствии изделия требованию к

индивидуальному показателю безотказности, т.е. решение о том, что изделие является браком и подлежит замене. При числе отказов $г$ за наработку τ_z меньше $г_0$ изделие признается соответствующим требованиям к показателю безотказности.

Для расчета объема выборки задаются относительной ошибкой (обычно принимают $\delta=0,05$) и выбирают доверительную вероятность (обычно принимают $(\beta=0,80; 0,90; 0,95)$).

Коэффициентный метод. Главная задача теории эксплуатации энергетического оборудования заключается в определении надежности его элементов и систем в конкретных условиях эксплуатации при известных показателях конструктивной надежности.

Объект изучения при решении такой задачи можно представить как устройство преобразования конструктивной интенсивности отказов элемента или системы « λ_k » в эксплуатационную « λ_z » под действием двух групп факторов: дестабилизирующих и компенсирующих. В первой группе основными и хорошо изученными являются воздействия энергосистемы (факторы U), окружающей среды (факторы C) и режимов использования (факторы V). Во второй группе обычно учитывают положительные воздействия электротехнического персонала за счет проведения технических обслуживания и ремонтов (факторы Π) и устройств защиты от аварийных режимов (факторы Z). Обобщенная математическая модель имеет вид:

$$\lambda_z = \lambda_k f(U, V, C, \Pi, Z).$$

Инженерный расчет основывается на использовании в модели коэффициентов надежности и влияния.

Коэффициент надежности представляет собой отношение интенсивности отказов изучаемого элемента λ_j к интенсивности отказов некоторого базового элемента λ_6 :

$$K_j = \lambda_j / \lambda_6 = \text{const.}$$

Обычно за базовый элемент принимают резистор типа ОМЛТ с номиналом от 1 до 10 КОм, мощностью 0,25 Вт. Для него $\lambda_6 = 2 \times 10^{-7} 1/\text{ч}$. Коэффициенты надежности основных видов электрооборудования приведены в табл.1.

Коэффициенты влияния K_{bi} показывают, как изменяется интенсивность отказов изучаемого элемента при изменении дестабилизирующих или компенсирующих факторов. Они являются безразмерными. При номинальных условиях эксплуатации $K_{bi} = 1,0$, т.е. эксплуатационная и конструктивная интенсивность отказов равны. Для других условий $0 < K_{bi} < 1$.

Таблица 1

№ п.п	Наименование оборудования	Коэффициент надежности
1	Трансформаторы силовые; на одну обмотку в целом	15,0 2,5
2	Электродвигатели: постоянного тока асинхронные	2,5 64,0
3	Выключатели автоматические	5,0
4	Рубильники (в целом)	4,0
5	Контакты и магнитные пускатели (в целом)	45,0
6	Кнопка управления	5,0

С учетом изложенных положений можно перейти от обобщенной модели к расчетной формуле

$$\lambda_{\Sigma} = \lambda_{\sigma} K_j K_{B1} K_{B2} \dots K_{Bn} = \lambda_{\sigma} K_j \prod_{i=1}^n K_{Bi},$$

где n - число учитываемых факторов.

Для коэффициентов влияния можно использовать универсальную формулу

$$K_{Bi} = \alpha_i^{\rho_i},$$

где α_i - фактическое значение учитываемого фактора в долях от номинального;

ρ^i - коэффициент чувствительности интенсивности отказов к изменению фактора (показывает, во сколько раз изменяется интенсивность при изменении значения фактора на 1%).

Таким образом, для расчета интенсивности отказов коэффициентным методом необходимо определить коэффициент надежности и коэффициенты влияния (табл. 2), а затем вычислить искомую эксплуатационную надежность. Если известна конструкционная надежность, то отличие расчета состоит лишь в том, что принимают $\lambda_k = \lambda_{\sigma} K_n$.

Вопросы для самоконтроля

1. Экспериментальный метод расчета.
2. Расчет надежности при общем и раздельном резервировании.
3. Определение показателей надежности электрических машин и устройств защиты простейшим методом расчета.
4. Коэффициентный метод расчета показателей надежности.

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
 2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
 3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.
- в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы Rambler, Yandex, Google:

Лекция 12.

Влияние условий эксплуатации на надёжность

Задача о периодичности технического обслуживания оборудования. Для многих видов оборудования оптимальной стратегией технической эксплуатации служит планово-предупредительный ремонт, когда в заранее намеченные сроки проводят профилактическое обслуживание или ремонт. При этом удастся с наименьшими затратами поддержать интенсивность отказов на требуемом уровне. Решение задачи о периодичности профилактик основано на графическом представлении влияния планово-предупредительных обслуживании на надёжность (рис. 11).

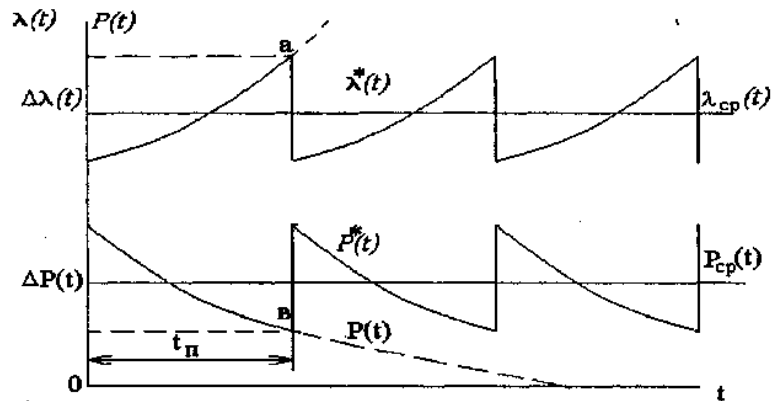


Рис. 1. Влияние планово-предупредительных обслуживании на надёжность

Как видно из рис.11, регулярное проведение профилактик существенно замедляет снижение вероятности безотказной работы и повышение интенсивности отказов. Если нет ограничений на ресурсы, то малой периодичностью t_n можно поддерживать

$\lambda^*(t) = \text{const}$, $P^*(t) = \text{const}$ на уровне новых изделий. Периодичность t_n можно определить, исходя из заданного или принятого изменения $\Delta\lambda(t)$ или $\Delta P(t)$ - точки а и в. Обозначим

$$\beta = \frac{\lambda(t)}{\lambda^*(t)},$$

где $\lambda(t)$, $\lambda(t^*)$ - изменение интенсивности отказов без профилактик и с профилактиками.

Тогда t_n определим из уравнения:

$$\beta = \frac{\lambda(t)}{\frac{1}{t_n} \int_0^t \lambda(t) dt}.$$

Решим пример, в котором интенсивность отказов изделия возрастает линейно $\lambda(t) = a + bt$. Тогда для определения периодичности профилактик, при $\beta=1,1$ находим:

$$\beta = \frac{\lambda(t)}{\frac{1}{t_n} \int_0^t \lambda(t) dt} = \frac{a + bt_n}{\frac{1}{t_n} \int_0^t (a + bt) dt} = \frac{2(a + bt_n)}{2a + bt_n}.$$

$$t_n = \frac{2a(\beta-1)}{e(2-\beta)}.$$

Отсюда искомая периодичность

Задача о готовности электродвигателя. Необходимо определить наработку на отказ t_{cp} и коэффициент готовности K_r асинхронного электродвигателя по истечении времени после начала работы $T=500$ часов, если средняя интенсивность отказов составляет $\lambda=60 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ и интенсивность восстановления работоспособности двигателя после отказа - $\mu=0,5$ операции по обслуживанию в час. Пусть допустимое время по обслуживанию двигателя $t=2$ ч. Тогда коэффициент готовности рассматриваемого двигателя $K_r(t) = 1 - e^{-\mu t} (1 - e^{-\lambda T})$ будет:

$$K_r(2) = 1 - e^{-0,5 \cdot 2} (1 - e^{-60 \cdot 10^{-6} \cdot 500}) = 0,989.$$

Интенсивность восстановления работоспособности двигателя после отказа из уравнения

$$T_B = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ ч}, \quad \text{а наработка на отказ двигателя из уравнения} \quad K_r = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + T_B} \text{ получается:}$$

$$t_{cp} = T_B \frac{K_r}{1 - K_r} = 2 \frac{0,989}{1 - 0,989} = 180 \text{ ч.}$$

Как показывают полученные данные, коэффициент готовности асинхронного двигателя получился достаточно высоким ввиду того, что вероятность безотказной работы его, или надежность, по истечении времени $T=500$ ч. составляет величину

$$P(500) = e^{-60 \cdot 10^{-6} \cdot 500} = 0,97, \text{ а время восстановления его работоспособности } T_B \text{ мало } (T_B = 2 \text{ ч}).$$

Задача 1. В период эксплуатации накоплены и затабулированы. Значения t_{Bi} , полученные в результате эксплуатации приведены в (табл.1)

Таблица1

Номер отказа	1	2	3	4	5	.	128	129	130
Время восстановления, час	0,25	0,31	0,35	0,12	0,08		3,52	2,05	0,17

значения времени восстановления t_{Bi} , они приведены в таблице. Нарботка на отказ $t_{cp} = 769 \text{ ч.}$

Следует определить среднее время восстановления T_B . Оно может быть определено из

выражения $T_B = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M t_{Bi}$. Подставив известные значения, мы получим

$$T_B = (0,25 + 0,31 + 0,35 + 0,12 + 0,08 + \dots + 3,52 + 2,05 + 0,17) / (130) = 1,37 \text{ ч.}$$

Далее определим коэффициент технического использования

$$K_{т.и.} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + T_B + t_{cp} \cdot K_{проф.}},$$

где $K_{проф.} = \frac{t_{обсл.}}{t_{сум.}}$ - коэффициент профилактики он равен 0,15.

$$\text{Тогда} \quad K_r = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + T_B} = \frac{769}{769 + 1,37} = 0,99.$$

$$K_{т.и.} = \frac{t_{cp}}{t_{cp} + T_B + t_{cp} \cdot K_{проф.}} = \frac{769}{769 + 1,37 + 0,15 \cdot 769} = 0,87.$$

Задача 2. Имеется система, состоящая из $N=100$ элементов, соединенных логически последовательно. Параметр потока отказов системы $\lambda_0=10^{-3}$ 1/ч. С помощью резервирования требуется обеспечить надежность системы в течение $t=1000$ часов $P_{тр}(1000)>0,95$.

В первую очередь определим уровень надежности системы без применения резервирования:

$$P_0(t) = P_0(1000) = e^{-\lambda_0 t} = e^{-10^{-3} \cdot 1000} = 0,37.$$

Применим постоянное общее резервирование. Кратность резервирования, при которой обеспечивается требуемый уровень

надежности, найдем по выражению $P_{тр}(t) = 1 - [1 - P_0(t)]^{M+1}$, откуда

$$M = \frac{\ln[1 - P_{тр}(t)]}{\ln[1 - P_0(t)]} - 1 = \frac{\ln[1 - 0,95]}{\ln[1 - 0,37]} - 1 \approx 6.$$

Таким образом, для удовлетворения заданных требований к надежности системы требуется не менее чем шестикратное резервирование аналогичными системами. Ясно, что такое резервирование выполнять нецелесообразно.

Рассмотрим раздельное поэлементное резервирование с постоянно включенным резервом. Так как значения интенсивностей отказов элементов не заданы, найдем среднее значение:

$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_0}{N} = \frac{10^{-3}}{100} = 10^{-5}$ ч⁻¹. Средняя вероятность безотказной работы элементов $P_{icp}(t)$ будет равна:

$$P_{icp}(t) = e^{-\lambda_{cp} t} = e^{-10^{-5} \cdot 1000} \approx 0,99.$$

При равной надежности элементов $P_{тр}(t)$ можно определить

из выражения $P_{тр}(t) = \{1 - [1 - P_{icp}(t)]^{M+1}\}^N$, откуда $M = \frac{\lg[1 - \sqrt[N]{P_{тр}(t)}]}{\lg[1 - P_{icp}(t)]} - 1$.

Подставляя в последнее выражение числовые значения, получаем

$$M = \frac{\lg[1 - \sqrt[100]{0,95}]}{\lg[1 - 0,99]} - 1 \approx 1.$$

Таким образом, если использовать раздельное поэлементное резервирование, заданное значение надежности будет обеспечиваться при кратности резервирования, равной единице. Практически это означает дублирование всех элементов системы.

Рассмотрим возможность применения общего резервирования, совмещенного с холодным состоянием резерва. Для расчета

$P_{Tp}(t)$ воспользуемся выражением $\sum_{i=1}^M \frac{\lambda_0(t)^i}{i!} = \frac{P(t)}{e^{-\lambda_0 t}}$ (без учета надежности

переключающих устройств). После подстановки исходных данных мы получили, что $m=3$. Таким образом, расчет показывает, что для обеспечения заданных требований к надежности системы наиболее целесообразным следует считать раздельное резервирование с кратностью $m=1$.

Вопросы для самоконтроля

1. Как осуществляется решение задачи о периодичности технического обслуживания оборудования?
2. Как осуществляется решение задачи о готовности электродвигателя?
3. Как осуществляется решение задачи о ремонтпригодности ?

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN 5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
 2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
 3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.
- в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы

Лекция 13.

Элементы теории массового обслуживания

Объектом изучения в теории эксплуатации служит техническая система. Это совокупность разнообразных подсистем и элементов, нацеленных на выполнение какого-либо задания. Способность системы выполнять свои функции оценивается идеализированными понятиями о состояниях, в пределах которых выделенные параметры системы остаются неизменными. Переход системы от одного состояния к другому называется **событием**.

В теории надежности, например, главными состояниями принимают работоспособность и неработоспособность, а центральным понятием служит **событие** перехода из работоспособного в неработоспособное состояние, которое называется **отказом**.

Из-за большого числа элементов и множества влияющих факторов отказы в системе возникают непрерывно и образуют поток отказов или поток событий, характеризующих реальное состояние системы.

В общем случае **потоком событий** называют последовательность однородных событий, следующих одно за другим в случайные моменты времени. Примерами служат: поток отказов электрооборудования в сельскохозяйственном предприятии, поток вызовов электромонтеров на оперативное обслуживание, поток подключений к телефонной станции и т.д.

Важной характеристикой потока событий служит его **интенсивность** « λ » - среднее число событий в единицу времени. Интенсивность потока событий обычно зависит от времени. В отдельных случаях интенсивность может быть (или принимают) постоянной величиной.

Кроме этого, потоки оценивают по регулярности, стационарности, последствиям и т.д. Поток считают **регулярным**, когда события следуют друг за другом через равные промежутки времени. Поток событий называют **стационарным**, если его вероятностные характеристики не зависят от времени. Когда для двух интервалов времени число событий не зависит между собой, тогда поток событий называют потоком без последствий. Поток событий считают **ординарным**, если появление группы (несколько) событий в небольшом интервале времени маловероятно.

По совокупности признаков выделяют простейшие, рекуррентные и др. потоки. Так, поток событий называют простейшим (пуассоновским), если он обладает сразу тремя свойствами: стационарен, ординарен и не имеет последствий

В системах с потоками событий возникает широкий круг задач, в которых надо определить результаты применения изделий или ресурсов при случайной потребности в них. Случайный характер потоков наиболее ярко выражен при массовом применении изделий. Поэтому теория, раскрывающая закономерности удовлетворения случайных потребностей, называется **теорией массового обслуживания** (ТМО). Примерами систем массового обслуживания (СМО) являются различные службы сервиса, электро- и авторемонтные предприятия, билетные кассы и т.п.

Объектом изучения ТМО служит идеализированная СМО, которая состоит из следующих элементов. **Источник требований (заявок)** - это совокупность обслуживаемых объектов (парк электродвигателей, трансформаторов и т.д.). **Накопитель** - часть СМО, в которой поступившие требования находятся в очереди на обслуживание. **Каналы (приборы, исполнители и др. объекты)**, которые обслуживают требования за счет ремонта, замены изделий или другими способами.

Работа СМО представляет собой случайный процесс перехода от одного состояния к другому. Если принять за исходное состояние « s_0 » - отсутствие заявки, то появление первой заявки скачком переводит СМО в состояние « s_1 » - имеется одна заявка; появление второй заявки скачком переводит СМО в состояние « s_2 » - имеется две заявки и т.д. Аналогичные изменения происходят при окончании обслуживания, потери заявки и т.п. Такие переходы изображают размеченным графом состояний, показанным на рис. 1.

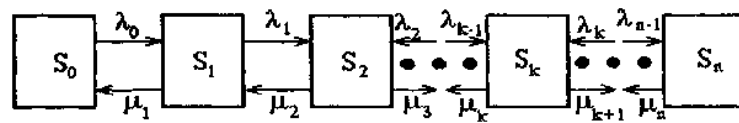


Рис.1. Граф состояний процесса «гибели и размножения»

При теоретическом изучении используют следующие параметры СМО: N - количество источников заявок; r - число каналов обслуживания; $\lambda = 1/T_3$ - интенсивность потока заявок от одного источника; $\lambda_{\Sigma} = \lambda N$ - суммарная интенсивность потока заявок; $\mu = 1/T_3$ - интенсивность обслуживания (ремонта) в одном канале; $M = \mu \cdot r$ - суммарная интенсивность обслуживания; T_3 и $T_в$ - средние продолжительности между заявками и между завершениями обслуживания

Для оценки эффективности СМО применяют различные критерии. Основными из них считают: Z - среднее число занятых каналов; L_c и L_0 - среднее число заявок в системе и в накопителе (очереди); P_c и P_0 - средние продолжительности пребывания заявки в системе и в очереди; P_3 - вероятность занятости канала (загрузка канала).

Предмет ТМО заключается в установлении зависимости между параметрами СМО и ее критериями. При этом выделяют прямые задачи, когда по исходным параметрам требуется определить значения критериев, и обратные задачи, когда надо выбрать параметры СМО, обеспечивающие заданную эффективность.

Практическая значимость методов ТМО возрастает за счет дополнительного использования экономических критериев, характеризующих, во-первых, степень удовлетворения заявок источника, а во-вторых, степень использования каналов. Совместное использование этих данных позволяет найти оптимальные системы массового обслуживания.

В зависимости от состава исходных данных и решаемых задач СМО имеют разнообразные варианты. По числу каналов: одноканальные и многоканальные. По дисциплине очереди: 1 -обслуживание с отказом (если каналы свободны, то заявки обслуживаются немедленно; если каналы заняты, то заявки получают отказ и теряются); 2 - обслуживание с ожиданием в очереди по мере поступления; 3 - обслуживание с приоритетом. По размерам источника заявок: 1 - открытые - источник имеет неограниченное число заявок; 2 - закрытые - число заявок ограничено. По характеру потока заявок: простейшие и произвольные потоки.

Каждые СМО характеризуются размеченным графом состояний. Простейшие СМО имеют граф в виде схемы гибели и размножения, показанной на рис.1. Все состояния системы вытянуты в одну цепочку. Каждое среднее состояние ($s_1, s_2, \dots, s_{n-1}$) связано прямой и обратной стрелками со смежными состояниями, а крайние s_0 и s_n - только с одним соседним состоянием. Главная задача ТМО - определение вероятности каждого состояния СМО.

В произвольный момент времени « t » система находится в состоянии s_k с вероятностью $P_k(t)$. В установившемся режиме, т.е. при $t \rightarrow \infty$, произвольные вероятности состояний стремятся к своим пределам, которые называют финальными вероятностями. Для их нахождения

составляют систему уравнений, характеризующих все состояния. В уравнении для каждого состояния в левой части записывают произведение финальной вероятности этого состояния на сумму интенсивностей потоков, выходящих из этого состояния, а в правой - сумму произведений интенсивностей всех потоков, входящих в данное состояние, на вероятность тех состояний, из которых потоки исходят. Например, для первого состояния s_0

$$\lambda_{01}P_0 = \lambda_{10} \cdot P_1$$

для второго состояния $(\lambda_{12} + \lambda_{01}) \cdot P_1 = \lambda_{01} \cdot P_0 + \lambda_{21} \cdot P_2$

и так далее.

Решение уравнений дает формулы для финальных вероятностей:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= \left(1 + \frac{\lambda_{01}}{\lambda_{10}} + \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\lambda_{21}\lambda_{10}} + \dots + \frac{\lambda_{n-1,n} \dots \lambda_{12}\lambda_{01}}{\lambda_{n,n-1} \dots \lambda_{21}\lambda_{10}} \right)^{-1} \\ P_k &= \frac{\lambda_{k-1,k} \dots \lambda_{12}\lambda_{01}}{\lambda_{k,k-1} \dots \lambda_{21}\lambda_{10}} P_0 \end{aligned} \right\}.$$

В ТМО установлены аналитические связи между критериями и параметрами СМО. Например, формулы Литтла связывают продолжительность пребывания заявки в системе «Пс» с числом заявок L_c , продолжительность пребывания заявки в очереди «П_о» с ее длиной L_o :

$$\left. \begin{aligned} P_c &= \frac{L_c}{\lambda} \\ P_o &= \frac{L_o}{\lambda} \end{aligned} \right\}.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется системой массового обслуживания?
2. Что называется каналом обслуживания?
3. Какая СМО называется СМО с отказами

4. Список литературы

5. а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб. пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN 5-7399-0016-6.

6. б) Дополнительная литература .

1. Теория прогнозирования и принятия решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
 2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
 3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.
- в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы

Лекция 14.

Использование теории надежности для решения эксплуатационных задач: определение численности персонала

Одноканальные СМО имеются в любых службах сервиса. При медицинском обслуживании это врач, принимающий пациентов, при обслуживании пассажиров - билетная касса, при техническом обслуживании энергетического оборудования - пост электрика и т.д.

Примем к рассмотрению одноканальную СМО без ограничений на длину очереди и на длительность ожидания. Пусть на эту систему поступает поток заявок с интенсивностью $\lambda=1/T_3$, т.е. заявки поступают в среднем через интервал времени T_3 . Система с интенсивностью обслуживания $\mu=1/T_в$ обслуживает их, т.е. на каждую заявку затрачивается период времени в среднем $T_в$. Требуется найти характеристики (критерии) работы СМО в установившемся режиме: L_c и L_o - среднее число заявок в системе и в накопителе (очереди); P_c и P_o - средние продолжительности пребывания заявки в системе и в очереди; P_3 - вероятность занятости канала (загрузка канала).

В данном случае ограничимся показательным законом распределения для T_3 и $T_в$, т.е. $\lambda=\text{const}$; $\mu=\text{const}$. Пронумеруем возможные состояния СМО по числу заявок в ней:

s_0 - канал свободен;

s_1 - канал занят (одна заявка обслуживается, очереди нет);

s_2 - канал занят (одна заявка обслуживается, одна - в очереди);

s_k - канал занят (одна заявка обслуживается, «к-1» заявка стоит в очереди).

Размеченный граф состояний показан на рис. 1.

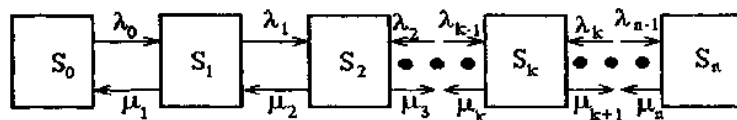


Рис.1. Граф состояний процесса «гибели и размножения»

Система переходит из s_0 в s_1 и далее в правом направлении под действием потока заявок с интенсивностью $\lambda=\text{const}$.

Поток восстановления (обслуживания заявок) с интенсивностью $\mu=\text{const}$ переводит систему назад - справа налево.

Для определения финальных вероятностей, характеризующих относительную продолжительность пребывания системы в состоянии «к», составим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \lambda P_0 &= \mu P_1 \\ \lambda P_1 &= \mu P_2 \\ &\dots\dots\dots \\ \lambda P_k &= \mu P_{k+1} \end{aligned} \right\}.$$

В данной задаче число состояний СМО $n \rightarrow \infty$, а сумма всех вероятностей $\sum P_i = 1,0$. Введем коэффициент нагрузки системы

$\rho = \lambda / \mu = \text{const}$. Он характеризует среднее число заявок, поступающих за период обслуживания одной заявки. Численно показывает, во сколько раз период обслуживания больше или меньше периода следования (в среднем) заявок. Обычно $\rho < 1,0$.

С учетом отмеченного, находим вероятности каждого состояния СМО:

$$\rho = \lambda / \mu = \text{const}.$$

В установившемся режиме вероятности убывают по закону геометрической прогрессии. При любой нагрузке системы в диапазоне $0 < \rho < 1,0$ вероятность P_0 больше остальных, т.е. относительная продолжительность свободного состояния системы больше продолжительности любого другого состояния.

Среднее число заявок в системе находится суммированием произведений возможных значений заявок «К» на их вероятности P_k : $L_c = \sum_{k=1}^{\infty} k P_k$

Окончательно получается, что

$$L_c = \frac{\rho}{1 - \rho}$$

Из полного числа заявок занятая обслуживанием доля пропорциональна вероятности занятости P_3 . Поскольку для СМО всегда выполняется условие $P_3 + P_0 = 1$, находим:

$$\left. \begin{aligned} P_3 &= 1 - P_0 = \rho \\ L_{об} &= \rho L_c \end{aligned} \right\}.$$

Длина очереди определяется разностью между полным и обслуживаемым числом заявок:

$$L_0 = L_c - L_{об} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$$

Наконец, по формулам Литтла находим средние продолжительности пребывания в системе и в очереди:

$$\left. \begin{aligned} \Pi_c &= \frac{\rho}{\lambda(1 - \rho)} \\ \Pi_0 &= \frac{\rho^2}{\lambda(1 - \rho)} \end{aligned} \right\}.$$

Эти характеристики имеют размерность час, сутки, год, в зависимости от размерности интенсивности поступления заявок.



Рис. 2. Характеристики одноканальной СМО

Аналитическое описание характеристики одноканальной СМО иллюстрирует рис. 1 для случая $\lambda=0,5$ ед/ч, $\mu=1$ ед/ч. Из графиков и формул видно, что все критерии эффективности СМО зависят от коэффициента нагрузки системы «ρ». Эти зависимости существенно нелинейны. С увеличением «ρ» лишь занятость растет линейно. Другие критерии - длина очереди и продолжительность пребывания в ней - бесконечно возрастают. Таким образом, главным параметром СМО служит коэффициент нагрузки системы. Для успешного

функционирования системы важно выбрать правильное значение «р». По безусловным критериям качества (L_c , L_o , P_c , P_o и т.п.) это сделать трудно. Поэтому приходится привлекать экономические показатели как оценки очереди заявок, так и для оценки занятости каналов. Обычно эти связи дают конкурирующие эффекты и позволяют найти оптимальные параметры СМО.

Другим примером простейшей СМО служит многоканальная система с отказами. Такие системы возникли с началом развития телефонизации. Их исследование привело к созданию теории массового обслуживания, в которой рассматриваемая СМО относится к классической задаче Эрланга.

Вопросы для самоконтроля

1. Как можно определить среднее время пребывания заявки в системе?
2. Как определяется среднее время пребывания заявки в очереди?
3. Как можно определить среднее число занятых каналов?

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб. пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб. пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] : учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN 5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература

1. Теория прогнозирования и принятия решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
 2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
 3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб. пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.
- в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы

Лекция 15.

Определение резервного фонда электрооборудования, оптимального резервирования, периодичности технического обслуживания и ремонта.

Пусть имеется «г» каналов (линий связи), на которые поступает поток заявок с интенсивностью «λ». Поток обслуживания имеет интенсивность «μ». Необходимо найти характеристики системы: А - абсолютную пропускную способность, равную среднему числу заявок, обслуживаемых в единицу времени; В - относительную пропускную способность, т.е. среднюю долю пришедших заявок, обслуживаемых системой; $P_{\text{отк}}$ - вероятность отказа в обслуживании (канал занят); r_3 - среднее число занятых каналов.[3]

Граф состояний такой системы соответствует рис. 1. Из состояний слева в состояние справа систему переводит поток заявок с интенсивностью «λ», а из состояний справа - налево - поток обслуживания с интенсивностью $K\mu$, где $1 \leq K \leq r$.

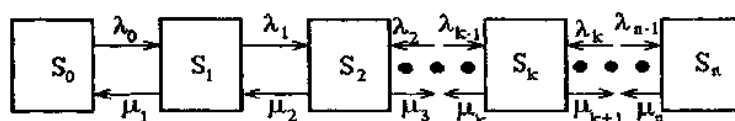


Рис.1. Граф состояний процесса «гибели и размножения»

Состояние системы нумеруют по числу заявок, находящихся в системе. В данном случае оно совпадает с числом занятых каналов:

S_0 - канал свободен, в системе нет ни одной заявки;

S_1 - в системе находится одна заявка, т.е. один канал занят, остальные каналы свободны;

S_k - в системе находится «к» заявок, т.е. «к» каналов занято, остальные каналы свободны;

S_r - в системе находится «г» заявок, т.е. все каналы заняты.

Если составить уравнения вероятностей для всех состояний, как в предыдущем примере, и решить полученную систему уравнений, то найдем следующие значения финальных вероятностей для нулевого P_0 и произвольного P_k состояний:

$$P_0 = \left(1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^r}{r!} \right)^{-1}$$

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} P_0$$

По ним определим искомые характеристики СМО. Относительная пропускная способность по определению есть вероятность того, что заявка будет обслужена. Она будет численно равна разности между единицей и вероятностью отказа « $P_{\text{отк}}$ », т.е. вероятностью того, что все каналы заняты:[3]

$$P_{\text{отк}} = P_r = \frac{\rho^r}{r!} P_0$$

$$B = 1 - P_{\text{отк}} = 1 - \frac{\rho^r}{r!} P_0$$

Абсолютную пропускную способность получим, умножая интенсивность потока заявок на вероятность их обслуживания:

$$A = \lambda B = \lambda \left(1 - \frac{\rho^r}{r!} P_0 \right)$$

Среднее число занятых каналов - это математическое ожидание дискретной величины 0, 1, 2,..., r с вероятностями этих значений $P_0, P_1, P_2, \dots, P_r$:

$$\bar{k} = 0 \cdot P_0 + 1 \cdot P_1 + \dots + r \cdot P_r = \rho \left(1 - \frac{\rho^r}{r!} P_0 \right).$$

Параметры и критерии многоканальной СМО сложным образом зависят от нагрузки системы и числа каналов. Для детального анализа следует изучать конкретные задачи.

Рассмотрим пример, который показывает, что ТМО вносит существенные коррективы в традиционные представления об обслуживании электрооборудования. Предположим, в хозяйстве имеется два дежурных электромонтера. Каждый час им поступает в среднем одна заявка на двоих на оперативное обслуживание электроустановок. Среднее время обслуживания заявки составляет один час. Итак, 1 заявка в час - трудоемкостью 1 час на двух электромонтеров. Интуитивно мы не предполагаем возможность отказа в обслуживании. Теперь проверим правильность этого предположения.

Дано: $r=2$; $\lambda=1$; $\mu=1$; $\rho=1$. Определим характеристики СМО.

Финальные вероятности СМО найдем

$$P_0 = \left(1 + 1 + \frac{1^2}{1 \cdot 2} \right)^{-1} = 0,4;$$

$$P_1 = \frac{1^1}{1} 0,4 = 0,4;$$

$$P_2 = \frac{1^2}{1 \cdot 2} 0,4 = 0,2.$$

Вероятность отказа определим: $P_{отк} = (1^2/1 \cdot 2) \cdot 0,4 = 0,2$

Среднее число занятых электромонтеров рассчитаем

$$\bar{k} = \rho \left(1 - \frac{\rho^r}{r!} P_0 \right) = 1 \left(1 - \frac{1^2}{1 \cdot 2} 0,4 \right) = 0,8.$$

Из расчета видно, что не все поступающие заявки удовлетворяются. 20% заявок остаются необслуженными, хотя в среднем занят лишь один электромонтер. Таким образом, первоначальное предположение оказалось ошибочным, что подтверждает несостоятельность расчетов по средним величинам в ситуациях с нерегулируемыми потоками событий.[3,5]

Прогрессивная организация технического сервиса основывается на создании такой службы, в которой одна часть исполнителей выполняет плановые работы, а другая - оперативное обслуживание, т.е. быстро устраняет отказы электрооборудования.

Процесс обслуживания оперативной службой состоит в следующем. Электрохозяйство сельскохозяйственного предприятия имеет определенное количество электрооборудования, которое учитывается числом условных электроустановок [1]. Отдельные электроустановки время от времени выходят из строя и оперативная служба обслуживает их, восстанавливая или заменяя.

Каждый отказ происходит в случайный момент времени. Количество отказов за сутки и за год - тоже случайная величина. Это затрудняет правильный выбор числа исполнителей

оперативной бригады. Если выбрать по наибольшему количеству отказов, то в отдельные периоды, когда отказов мало, исполнители будут простаивать. Если выбрать по наименьшему количеству отказов, то исполнители не всегда будут успевать устранять отказы. Расчет по среднему количеству отказов также не гарантирует полную занятость исполнителей и полное устранение отказов. Успешное решение такой задачи дают методы ТМО.[3]

Предположим, что парк электрооборудования сельскохозяйственного предприятия состоит из «т» условных электроустановок. Они создают поток отказов с интенсивностью «А,». Оперативная служба устраняет эти отказы с интенсивностью «ц». Промежутки времени между отказами, а также продолжительности восстановления распределены по показательному закону. Эти исходные данные описывают простейшую СМО. Требуется определить количество каналов обслуживания - электромонтеров, обеспечивающих наибольшую эффективность оперативного обслуживания.

В данном случае эффективность следует оценить экономическим критерием. Необходимо создать такую службу, чтобы затраты, связанные с простоем производственных процессов и содержанием оперативной службы, были бы наименьшими. Производительность устранения отказов зависит от числа исполнителей в оперативной службе. Если исполнителей много, то отказы устраняются быстро и просто. При этом ущерб производственных процессов не велик, но на оплату труда этих исполнителей придется выделить большие средства, и они могут быть плохо загружены. Если же электромонтеров мало, то простои из-за отказов увеличиваются и возрастает ущерб производству, хотя затраты на оперативную службу снижаются.

Такое изменение экономического критерия системы оперативного обслуживания электроустановок или другой техники описывается следующим уравнением:

$$Z = nC_n + zC_z,$$

где n - среднее число простаивающих из-за отказа электроустановок (обслуживаемых и ожидающих обслуживания);

z- число электромонтеров оперативной службы;

C_n - потери в единицу времени от простоя одной условной электроустановки;

C_r - заработная плата одного электромонтера в единицу времени.

Среднее число простаивающих электроустановок численно равно длине очереди системы и определяется суммированием произведений состояний «к» на их вероятности « P_k ».

$$\text{Находим } n = L = \sum_{k=r+1}^M k P_k = \sum_{k=r+1}^M k \frac{\rho^k}{k!} P_0$$

Сопоставляя анализируя изложенное находим, что суммарные затраты зависят не только от числа электромонтеров, но и от нагрузки системы $\rho = \lambda / \mu$ количества электроустановок «М» и удельных стоимостных показателей C_n и C_r . В практических расчетах используют табличные данные основных характеристик оперативного обслуживания, приведенных в табл. 1 [3].

Кроме абсолютных показателей системы (P_0 , m, k_3), в табл. 1 приведены затраты на заработную плату Z_r и на покрытие ущерба от простоев Z_n для частного случая $C_r=3$ руб/ч, $C_n=1-3$ руб/ч. Минимальное значение суммарных затрат соответствует оптимальной численности электромонтеров оперативной службы.

Анализ данных табл. 1 и рис. 1, (построенного по данным табл. 1), позволяет сделать выводы о закономерностях построения оперативной службы сервиса.

Зависимость суммарных затрат от числа исполнителей имеет ярко выраженный минимум, который определяет оптимальное количество электромонтеров. Отступление от этого числа в меньшую сторону сильнее увеличивает суммарные затраты, чем в большую. С ростом удельного ущерба от

T_a

Характеристики службы оперативного обслуживания при $M=600$ у.е.

$\rho = \lambda / \mu$	r	P_0	π	K_3	3_r	3_π		3	
						$C_\pi=1$	$C_\pi=3$	$C_\pi=1$	$C_\pi=3$
$1,6 \cdot 10^{-3}$	1	0,060	12,50	0,94	3,0	12,5	37,5	15,5	40,5
	2	0,352	1,24	0,48	6,0	1,2	3,7	7,2	9,7
	3	0,379	0,99	0,32	9	0,9	0,9	9,9	11,9
	4	0,383	0,96	0,24	12,0	0,9	2,8	12,9	14,9
$2,8 \cdot 10^{-3}$	1	0,091	5,22	0,83	3,0	5,2	15,6	8,2	18,6
	2	0,171	2,05	0,56	6,0	2,0	6,0	8,0	12,0
	3	0,184	1,75	0,42	9,0	1,7	5,1	10,7	14,1
	4	0,196	1,00	0,30	12,0	12,0	3,0	13,0	15,0

простая техники оптимум смещается в сторону большего числа исполнителей, а абсолютный минимум суммарных затрат возрастает.

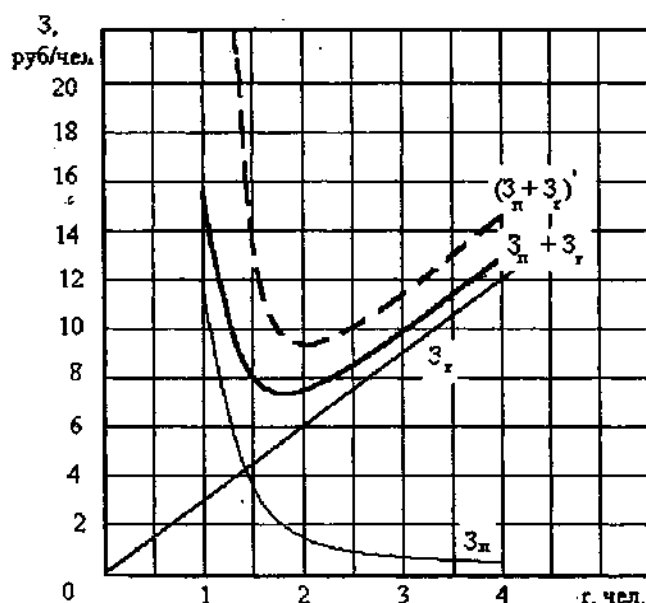


Рис. 2. Характеристики оперативного обслуживания

С ростом коэффициента нагрузки СМО $\rho = \lambda / \mu$ зависимость суммарных затрат становится более пологой, т.е. отступления от оптимального числа исполнителей увеличивают эти затраты в меньшей степени.

Оптимальная численность электромонтеров оперативной службы обеспечивается, как правило, при относительно небольшой их занятости (20...50%). Поэтому для повышения загрузки следует совмещать выполнение плановых и оперативных работ этими электромонтерами.

Вопросы для самоконтроля

1. Резервирование как метод повышения надежности.

- 2.Классификация видов резервирования.
- 3.Как осуществляется решение задачи о периодичности технического обслуживания оборудования?
- 4.Как осуществляется решение задачи о готовности электродвигателя?
- 5.Как осуществляется решение задачи о ремонтпригодности

Список литературы

а) основная литература

1. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин [Текст] : учеб.пособие / Н.Л. Кузнецов. – М.: изд. Дом МЭИ, 2012. – 432с. ил. – 1000 экз. – ISBN 5-903072-0.
2. Разгильдяев, Г.И. Надежность электромеханических систем [Текст] : учеб.пособие / Г.И. Разгильдяев. – Кемерово: Куз ГТУ, 2011. – 157с.: ил. – 150 экз. – ISBN 5-285-04387-8.
3. Апалонский, С.М. Надежность и эффективность электрических аппаратов [Текст] :учеб. пособие /С.М. Апалонский, Ю.В. Куклев. – М.: изд. Лань, 2011. – 296с.: ил. – 500 экз. – ISBN 5-7399-0016-6.

б) Дополнительная литература .

- 1.Теория прогнозирования и принятие решений [Текст] : учеб. пособие / С.А. Саркисян, В.Н. Каспин. - М.: Высшая школа, 2003. - 230с.
2. Гаскаров, Д.В. Прогнозирование технического состояния и надёжности электронной аппаратуры [Текст] учеб. пособие / Д.В. Гаскаров. - М.: изд. Высшая школа, 2004. - 188с.
3. Калявин, В.П. Основы теории надёжности и диагностики [Текст] : учеб.пособие /В.П. Калявин. - СПб, Элмор, 2005.-173с.

в) Базы данных, Информационно – справочные и поисковые системы, Агропоиск, полнотекстовая база данных иностранных журналов Doal, поисковые системы

Содержание

Введение.....	3
Лекция 1. Основные понятия и определения теории надежности.	4
Лекция 2 Оценка технического состояния электрооборудования	8
Лекция 3. Составляющие надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.....	11
Лекция 4. Модель состояния электрооборудования.....	13
Лекция 5. Комплексные показатели надежности.....	15
Лекция 6. Применение теории вероятности для исследования надежности.....	17
Лекция 7. Использование основных законов распределения	20
Лекция 8. Частные случаи использования основных законов распределения.....	24
Лекция 9. Классификация методов расчета надежности	25
Лекция 10. Расчет надежности при последовательном и параллельном соединении элементов.....	28
Лекция 11. Методы определения надежности.....	31
Лекция 12. Влияние условий эксплуатации на надёжность.....	34
Лекция 13. Элементы теории массового обслуживания.....	38
Лекция 14. Использование теории надежности для решения эксплуатационных задач: определение численности персонала	41
Лекция 15. Определение резервного фонда электрооборудования, оптимального резервирования, периодичности технического обслуживания и ремонта.....	44
Содержание.....	49