

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

ДИАГНОСТИКА И НАДЕЖНОСТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

сборник учебно-методических материалов
для направления подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и про-
изводств

Благовещенск, 2017

Печатается по решению
Редакционно-издательского совета
Энергетического факультета
Амурского государственного университета

Составитель: Усенко В.И.

Диагностика и надежность автоматизированных систем: сборник учебно-методических материалов для направления подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2017. – 31 с.

©Амурский государственный университет, 2017
©Кафедра автоматизации производственных
процессов и электротехники, 2017
©Усенко В.И., составитель

Содержание

Введение	4
1. Краткий курс лекций	5
2. Методические рекомендации к практическим занятиям	21
3. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов	25
Библиографический список	31

ВВЕДЕНИЕ

Целью освоения дисциплины «Диагностика и надежность автоматизированных систем» является формирование у студентов знания о принципах построения, составе, назначении, характеристиках и особенностях применения технических средств и систем с точки зрения надежности, анализе и синтезе технических (технологических) автоматизированных систем с заданным уровнем надежности и их диагностировании.

Задачи изучения дисциплины «Диагностика и надежность автоматизированных систем»:

- изучение законов распределения теории надежности;
- формирование знаний, необходимых для создания технических и программных средств автоматизации с заданным уровнем надежности;
- получение знаний о структуре и составе систем диагностики систем управления, навыков их выбора и разработки.

В результате изучения дисциплины обучающиеся должны:

Знать

основные показатели надежности и автоматизируемых систем управления и отдельных устройств, факторы, влияющие на надежность; · способы расчета показателей надежности, а также методы их экспериментальной оценки; · основные пути повышения надежности АСУ при проектировании и эксплуатации систем управления путем структурной, временной и информационной избыточности при минимально возможных затратах.

Уметь

оценить надежность аппаратного и программного обеспечения АСУ; строить логические модели расчета надежности аппаратного и программного обеспечения автоматизированных систем обработки информации и управления;

проводить системный сравнительный анализ надежности характеристик различных альтернативных вариантов для обоснования выбора наиболее эффективного решения;

использовать математические методы теории надежности для анализа и синтеза АСУТП в энергетике и промышленности.

Владеть

основными методами оценки показателей надежности АСУ, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией.

1. КРАТКИЙ КУРС ЛЕКЦИЙ

Тема 1. Введение. Основные понятия теории надежности. Критерии надежности.

Надежность техники и ее теория

Надежность является одним из самых важных показателей техники. От нее зависят такие показатели, как качество, эффективность, безопасность, риск, готовность, живучесть. Техника может быть эффективной только при условии, если она имеет высокую надежность. Надежность техники определяется при ее проектировании и производстве. Чтобы создать техническую систему, соответствующую требованиям надежности, необходимо уметь рассчитывать ее надежность в процессе проектирования, знать методы обеспечения высокой надежности и способы их технической реализации. Нужно также разработать методы, обеспечивающие высокую безотказность техники в процессе ее эксплуатации.

Техника надежности – это наука, изучающая закономерности отказов технических объектов. Она изучает:

- критерии и показатели надежности техники по критериям надежности;
- методы анализа и синтеза техники по критериям надежности;
- методы обеспечения и повышения надежности техники;
- научные методы эксплуатации, обеспечивающие ее надежность.

Теория надежности как наука и техническая дисциплина имеет ряд особенностей:

- широкое использование математики при изучении теории надежности, в частности таких дисциплин, как теория вероятностей и математическая статистика, решение интегральных и дифференциальных уравнений, математическая логика, теория систем массового обслуживания;
- необходимость применения компьютерных технологий при решении практических задач;
- случайный характер отказов и восстановлений, поэтому любые решения задач надежности имеют вероятностный характер;
- трудность математического моделирования объектов из-за отсутствия достоверных данных о надежности элементов системы;
- трудность, а во многих случаях невозможность статистических испытаний;
- сложность современных систем

Техническое состояние объекта со временем изменяется. К факторам, под воздействием которых изменяется техническое состояние объекта, можно отнести действия климатических условий, старение с течением времени, замену отказавших элементов и т. п.

Об изменении технического состояния объекта судят по значениям диагностических (контролируемых) параметров, позволяющих определить техническое состояние объекта без его разборки.

К аппаратным средствам диагностирования (контроля) относят различные устройства: приборы, пульта, стенды, специальные вычислительные машины, встроенную аппаратуру контроля вычислительных и управляющих машин и т. п.

Программные средства диагностирования (контроля) представляют собой программы, записанные, например, на перфоленте. При этом используют как рабочие программы объекта, содержащие дополнительные операции, необходимые для диагностирования (контроля) объекта, так и программы, специально составленные исходя из требований диагностирования (контроля) объекта. Рабочие программы позволяют осуществлять диагностирование (контроль) объекта в процессе использования его по прямому назначению, а специальные программы требуют перерывов в выполнении объектом его рабочих функций.

Примерами объектов, диагностируемых программными средствами, являются универсальные или специализированные вычислительные, управляющие или логические машины.

Алгоритм диагностирования (контроля) устанавливает состав и порядок проведения элементарных проверок объекта и правила анализа их результатов. Элементарная проверка определяется рабочим или тестовым воздействием, поступающим или подаваемым на объект, а также составом признаков и параметров, образующих ответ объекта на соответствующее воздействие. Конкретные значения признаков и параметров, получаемых при диагностировании (контроле) являются результатами элементарных проверок или значениями ответов объекта.

Различают безусловные алгоритмы диагностирования (контроля), у которых порядок выполнения элементарных проверок определен заранее, и условные алгоритмы диагностирования (контроля), у которых выбор очередных элементарных проверок определяется результатами предыдущих. Если диагноз составляется после дополнения всех элементарных проверок предусмотренных алгоритмом, то последний называется алгоритмом с безусловной остановкой. Если же анализ результатов делается после выполнения каждой элементарной проверки, то алгоритм является алгоритмом с условной остановкой.

Для каждого объекта можно указать множество параметров, характеризующих его техническое состояние. Их выбирают в зависимости от применяемого метода диагностирования (контроля). Следует различать прямые и косвенные диагностические (контролируемые) параметры. Прямой - структурный параметр непосредственно характеризует техническое состояние объекта. Косвенный параметр косвенно характеризует техническое состояние.

Основными понятиями теории надежности являются «надежность» и «отказ».

Надежностью называется физическое свойство технического устройства сохранять свои характеристики (параметры) в определенных пределах при данных условиях эксплуатации.

Отказом называется событие, после возникновения которого характеристики технического объекта (параметры) выходят за допустимые пределы.

Отказ – фундаментальное понятие теории надежности. Критерий отказа – отличительный признак или совокупность признаков, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа.

Отказы классифицируются по разным признакам, основными из которых являются следующие:

- характер возникновения (внезапные, постепенные и перемежающиеся);
- причина возникновения (конструкционные, производственные и эксплуатационные);
- последствия отказов;
- дальнейшее использование объекта (полные или частичные);
- легкость обнаружения (явные и неявные);
- время возникновения (прирабочные и износные).

Надежность зависит от многих внешних и внутренних факторов и оценивается многими критериями и показателями. Все это привело к появлению в теории надежности большого числа различных терминов и их определений. На практике и в теории часто применяют следующие: элемент, система, структура системы, процесс, исправность, работоспособность, предельное состояние, наработка, наработка до отказа, наработка между отказами, технический ресурс, назначенный ресурс, время восстановления работоспособного состояния, безотказность, долговечность, ремонтотпригодность.

Критерием надежности называется признак (мерило), по которому оценивается надежность.

Показателем надежности называется численное значение критерия.

Основной характеристикой надежности элемента является функция распределения продолжительности его безотказной работы. На ее основе могут быть получены следующие показатели надежности невозстанавливаемого элемента:

- $P(t)$ – вероятность его БОР за время t ;
- $Q(t)=1-P(t)$ – вероятность отказа в течение времени t ;
- T_l – среднее время БОР;
- $f(t)$ – плотность распределения времени БОР;
- $\lambda(t)$ – интенсивность отказов в момент времени t ;
- $\Lambda(t)$ – функция ресурса;
- t_γ – γ -процентный ресурс – наработка, в течение которой элемент не достигает отказа с вероятностью $\gamma/100$.

Показателями надежности восстанавливаемых элементов и систем могут быть также показатели надежности восстанавливаемых элементов. Но они имеют и свои показатели:

- T – среднее время между отказами;
- T_v – среднее время восстановления;
- $\omega(t)$ – параметр потока отказов;
- $K_r(t)$ – функция готовности;
- $K_n(t)$ – функция простоя;
- K_r – коэффициент готовности;
- K_n – коэффициент простоя.

В теории надежности наиболее часто используются следующие распределения случайной величины (времени до возникновения отказа):

экспоненциальное, нормальное (распределение Гаусса), распределение Вейсбулла и гамма-распределение.

Тема 2. Расчет надежности АСУ. Типовые случаи расчетов надежности.

Под элементом в теории надежности понимается любой технический объект, имеющий показатель надежности, самостоятельно учитываемый при расчетах. Элемент с восстановлением имеет два возможных состояния:

- (0) – элемент работает;
- (1) – элемент восстанавливается.

Работу элемента можно описать простейшим графом состояния, в ветвях которого находятся функции – интенсивности потоков отказов $\lambda(t)$ и восстановлений $\mu(t)$.



Рис. 1

Вероятности $p_0(t)$ и $p_1(t)$ пребывания элемента в исправном и отказовом состояниях совпадают с функциями готовности и простоя соответственно. Считается, что в начальный момент времени элемент исправен, поэтому $p_0(0) = 1$ и $p_1(0) = 0$.

Приведенному графу соответствует следующая система ОДУ:

$$\begin{cases} p'_0(t) = -\lambda(t)p_0(t) + \mu(t)p_1(t); \\ p'_1(t) = \lambda(t)p_0(t) - \mu(t)p_1(t). \end{cases}$$

Если время БОР и время восстановления элемента имеют экспоненциальные распределения с параметрами λ и μ соответственно, то в результате решения системы ДУ получаем следующие выражения для функции готовности и простоя:

$$K_{\bar{A}}(t) = \frac{\mu}{\mu + \lambda} + \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t}, \quad K_{\bar{I}}(t) = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} - \frac{\lambda}{\mu + \lambda} e^{-(\mu + \lambda)t}$$

Рассчитать надежность сложной системы – это значит определить ее показатели надежности по известным показателям надежности элементов. Существует большое число методов расчета надежности и способов описания функционирования технической системы в смысле ее надежности. Рассмотрим некоторые из этих способов.

1. Структурная схема системы. Каждый элемент сложной системы изображается в виде прямоугольника. Прямоугольники соединяют линиями таким образом, чтобы полученная структурная схема отображала условия работоспособности. Высокая наглядность – основное достоинство этого метода. Его недостатком является далеко не полная информация о функционировании системы. Эти и ряд других недостатков требуют дополнительных описаний условий работоспособности системы. Только при этих условиях можно выполнить анализ системы по критериям надежности. Кроме того, структурная схема не является математической моделью функционирования системы.

2. Функции алгебры логики. Если закодировать состояния каждого из элементов структурной схемы двоичными переменными: 1 (элемент исправный), 0 (элемент в отказовом состоянии), то функционирование системы можно описать с помощью функции алгебры логики (ФАЛ), используя операции конъюнкции, дизъюнкции и инверсии. Процедура получения ФАЛ может быть формализована с помощью СДНФ, получаемой из таблицы истинности, соответствующей

работоспособному состоянию системы. ФАЛ может быть математической моделью функционирования системы в смысле е надежности.

3. Граф состояний системы. Восстанавливаемая система, состоящая из n элементов, может находиться в большом числе состояний. Из-за отказов и восстановлений система в дискретные моменты времени переходят из одного состояния в другое. В процессе длительной эксплуатации она может побывать в каждом из возможных состояний многократно. Тогда ее функционирование может быть описано графом, узлам которого приписываются состояния системы, а ветвям – возможные переходы из состояния в состояние. Вид графа зависит от структуры системы, числа обслуживания бригад и дисциплины обслуживания. На графе также указываются все интенсивности переходов. Все количественные характеристики надежности восстанавливаемой системы могут быть определены непосредственно из графа состояний системы.

4. Описание функционирования системы с помощью уравнений типа массового обслуживания.

По виду графа состояний системы можно составить систему ДУ типа массового обслуживания для определения количественных характеристик надежности восстанавливаемой системы. Эти уравнения позволяют найти вероятность того, что система в данный момент времени находится в i -м состоянии.

В установившемся режиме функционирования вероятности состояний являются величинами постоянными. Тогда все производные равны нулю и система ДУ превращается в систему линейных алгебраических уравнений.

Анализ способов описания функционирования технических систем позволяет сделать ряд важных выводов.

Существуют, по крайней мере, следующие три способа описания функционирования восстанавливаемых систем:

- схема расчета надежности (структура системы);
- граф состояния;
- система ДУ типа массового обслуживания.

Система расчета надежности не позволяет в полной мере описать функционирования восстанавливаемой систем. Однако она является исходной для построения графа и для составления ДУ функционирования системы.

Описание функционирования восстанавливаемой системы с помощью графа состояний обладает высокой наглядностью. Он существенно облегчает процедуру записи ДУ функционирования системы. Позволяет также определить показатели надежности невосстанавливаемых систем.

Функционирование восстанавливаемой системы можно наиболее полно описать системой ДУ. Наличие программ решения системы ДУ на ЭВМ существенно расширяет возможности методами. Однако этот метод не обладает наглядностью и требует громоздких вычислений при определении количественных характеристик надежности даже сравнительно простых систем. Кроме того, анализ надежности сложных систем практически невозможен. На смену ему приходит метод, который в теории надежности называется методом интегральных уравнений.

Структурная схема (схема расчета надежности) *нерезервированной* системы, состоящей из n элементов, представляет собой последовательное соединение элементов с известными вероятностями БОР. Такое соединение в теории надежности называется основным. В данном случае отказ системы происходит при отказе элемента с минимальным временем исправной работы. Применение умножения вероятностей позволяет сделать вывод, что вероятность БОР системы равна произведению вероятностей БОР ее элементов:

$$P_n(t) = \prod_{j=1}^n p_j(t).$$

Среднее время БОР, являясь математическим ожиданием времени до отказа системы, вычисляется по формуле:

$$T_1 = \int_0^{\infty} P_{\bar{n}}(t) dt.$$

Интенсивность отказов (ИО) системы определяется выражением:

$$\lambda_{\bar{n}}(t) = \sum_{j=1}^n \lambda_j(t).$$

Т.о., ИО системы с основным соединением элементов равна сумме ИО ее элементов, независимо от их законов распределения времени до отказов.

Для случая постоянных интенсивностей отказов элементов формулы для показателей принимают более простой вид:

$$\lambda_{\bar{n}} = \sum_{j=1}^n \lambda_j; \quad P_{\bar{n}}(t) = e^{-\lambda_{\bar{n}} t}; \quad T_1 = \frac{1}{\lambda_{\bar{n}}}.$$

Основным способом повышения надежности и снижения техногенного риска является *структурное резервирование*, которое реализуется путем введения в систему дополнительных элементов, узлов, блоков. В основном используются системы с постоянно включенным резервом и с резервом замещения.

Структурная схема системы с постоянно включенным резервом изображена на следующем рисунке:

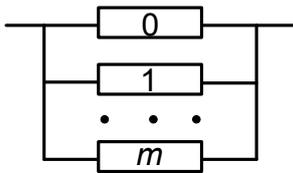


Рис.2

Элемент с номером 0 является основным, а элементы с номерами 1, 2, ..., m – резервными. Общее число элементов в системе $n = m + 1$, где m – кратность резервирования – отношение числа резервных элементов к числу основных.

Из теоремы умножения вероятностей следует, что вероятность отказа системы равна произведению вероятностей отказов ее элементов:

$$Q_{\bar{n}}(t) = \prod_{i=0}^m q_i(t) = \prod_{i=0}^m (1 - p_i(t))$$

или

$$P_{\bar{n}}(t) = 1 - \prod_{i=0}^m (1 - p_i(t))$$

На практике наиболее часто имеют случаи, когда основная система и все резервные одинаковы и имеют вероятностей БОР $P(t)$.

Тогда

$$P_{\bar{n}}(t) = 1 - (1 - p_i(t))^n.$$

Для случая равнонадежных систем и постоянной ИО вероятность БОР системы, ее ИО и среднее время БОР определяются выражениями:

$$P_{\bar{n}}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}; \quad \lambda_{\bar{n}}(t) = \frac{(m+1)\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}}; \quad T_1 = \frac{1}{\lambda} \sum_{k=1}^{m+1} \frac{1}{k}.$$

Рассмотрим вопрос анализа надежности восстанавливаемых систем.

Основными особенностями таких систем по сравнению с невозстанавливаемыми являются:

- большое число состояний;
- наличие последствия отказов элементов;
- зависимость показателей надежности от большого числа факторов (интенсивности восстановления, дисциплины обслуживания).

Поэтому расчет показателей надежности восстанавливаемых систем – задача более трудная, чем невозстанавливаемых.

Тема 3. Контроль технического состояния объектов в процессе их эксплуатации.

1. Оценка надежности техники по опытным данным.

Основными целями испытания элементов и систем на надежность являются: □ подтверждение соответствия данных анализа, полученных в процессе проектирования системы, с требуемыми показателями надежности; □ разработка рекомендаций по технической эксплуатации системы; □ получение показателей надежности элементов с целью их использования при расчетах надежности технических систем в процессе проектирования. Анализ надежности сложной системы осуществляется путем расчетов. Рассчитать надежность системы это значит определить ее показатели по известным показателям надежности элементов структурной схемы, которые можно получить лишь путем статистических экспериментов. Наука еще не разработала методов определения интенсивностей отказов элементов методами расчетов. В большинстве случаев разработчик технической системы не имеет данных о надежности элементов. Поэтому результаты расчетов во многих случаях не достоверны. Часто они выполняются тогда, когда система уже спроектирована, и делаются для того, чтобы удовлетворить требованиям заказчика. Отсутствие достоверных статистических данных об отказах техники затрудняет разработку научно обоснованных методов эксплуатации. В технических описаниях нередко отсутствуют указания о дисциплине обслуживания, оптимальном объеме ЗИП, штатной численности обслуживающего персонала. Частота и глубина профилактики часто не обосновываются. Опыт эксплуатации техники показывает, что они далеки от оптимальных. Получить данные о надежности элементов путем лабораторных испытаний — задача исключительно трудная. Ее техническая реализация в большинстве случаев не выполнима. Элементы сложных технических систем имеют интенсивности отказов порядка $10^{-5} - 10^{-7}$ час⁻¹. Требования на надежность систем, состоящих из таких элементов, представляют собой численные показатели с двумя значащими цифрами после запятой. Например, вероятность безотказной работы в течение времени t должна удовлетворять условию $P(t) > 0,97$ или коэффициент готовности $K_r(t) > 0,99$. Нередко, особенно в системах с высоким риском и в системах вооружения, требования задаются с тремя значащими цифрами после запятой. Для обеспечения этих требований в процессе проектирования необходимо иметь данные о показателях надежности элементов с такой же или более высокой точностью. Получить такие данные путем лабораторных испытаний в большинстве случаев невозможно. Пусть, например, необходимо получить значение интенсивности отказа элемента, если $\lambda = 10^{-6}$ час⁻¹. При постановке такого опыта необходимо провести испытание миллиона элементов в течение одного часа или тысячи элементов в течение тысячи часов, чтобы получить один отказ. При этом достоверность такого испытания до первого отказа будет практически нулевой. Для получения данных об интенсивности отказа элемента с необходимой точностью объем и время испытаний должны быть значительно выше. В целях сокращения объема и времени испытаний разрабатывались ускоренные методы. Технически такие испытания реализуются путем повышения нагрузок на элементы и создания тяжелых условий работы. Авторы этих методов делают много допущений. Вот одно из них: законы распределений отказов элементов при увеличении нагрузки не меняются, изменяются лишь моменты законов, например среднее значение и дисперсия. Подобные допущения не доказываются и не проверяются. Поэтому получаемые модели неадекватны объекту. Следует также иметь в виду, что в лаборатории создать реальные условия эксплуатации чрезвычайно трудно. Анализируя современные методы испытания, убеждаемся, что в большинстве случаев в лабораторных условиях практически невоз-

можно получить данные о надежности элементов, которые бы позволили с требуемой точностью определить законы распределения отказов и их параметры. Подобные испытания требуют такого объема и времени проведения, которые разработчик физически и экономически реализовать не может.

Где же выход из создавшегося положения? Решить эту важнейшую техническую задачу можно лишь при анализе потока отказов технических систем в процессе их эксплуатации, когда функционирует большое количество техники в течение длительного времени в реальных условиях эксплуатации.

2. Сбор и обработка данных об отказах техники в процессе эксплуатации.

В настоящее время в нашей стране отсутствует единая система сбора и обработки информации о надежности техники. Это является одной из причин ее сравнительно низкой надежности. Без таких данных практически невозможно спроектировать новую систему на заданные показатели надежности. Сбор статистических данных об отказах техники трудно автоматизировать. Эту работу должен выполнять обслуживающий персонал. В таких условиях получить из эксплуатации необходимые и достоверные статистические данные о надежности и ремонтпригодности техники трудно. Это объясняется следующими обстоятельствами. Статистические данные об отказах часто не отражают физической сущности надежности, а поэтому не могут быть обработаны для получения ее количественных характеристик. Случайными величинами для оценок надежности техники являются время между отказами и длительность ремонта. Если техника работает непрерывно, то для получения этих данных достаточно фиксировать лишь дату отказа и длительность ремонта. Сложные системы работают с перерывами, вызванными профилактиками, ремонтами, отсутствием необходимости использования техники и многими другими причинами. При этом для получения численных показателей надежности необходимо фиксировать не только дату отказа, но также время работы между отказами, исключив время нерабочего состояния техники. Ремонтируемые системы работают в режиме смены отказавших элементов. При таком режиме работы нужно учитывать возможность замены элемента данного типа в прошлом. Отсутствие единой системы сбора и обработки статистических данных об отказах и ремонтах техники приводит к тому, что во многих случаях сбор статистических данных (если он ведется) ведется не квалифицированно. По

этому разработчик не может с необходимой точностью оценить надежность техники в процессе ее проектирования. Более того, анализ надежности при недостоверных данных о надежности элементов может привести к ложным выводам.

Система сбора данных об отказах должна удовлетворять следующим требованиям: □ статистические данные, получаемые из эксплуатации, должны позволять подтвердить характеристики надежности системы, полученные в процессе проектирования (расчета); □ статистические данные должны позволять получить показатели надежности не только системы, но также ее элементов; □ методика сбора данных должна быть предельно простой, не требующей больших усилий. Этим требованиям удовлетворяет карта отказов, приведенная в табл. 1.

Таблица 1. Карта отказов техники

Тип отказавшей системы	Из-за какого элемента произошел отказ	Время начала эксплуатации системы	Дата отказа	Суммарное время наработки системы от начала эксплуатации, час	Суммарное время наработки от последнего восстановления до данного отказа, час	Время восстановления, час
ПК	Клавиатура	20.10.1996	11.03.1997	1156	328	4,5
Самолет ТУ-154 М	Система управления	04.05.1995	03.07.2001	48000	32	8

Табл. 1 является предельно простой. Статистические данные, указанные в ней, позволяют определить с помощью непосредственных вычислений показатели надежности восстанавливаемых систем. Однако по данным таблицы невозможно определить показатели надежности невосстанавливаемых систем: вероятность безотказной работы, среднее время безотказной работы, интенсивность отказов, закон распределения времени до отказа. Для получения этих показателей необходимо знать время до первого отказа, которое в таблице отсутствует. Ниже приводится методика, позволяющая по данным таблицы получить также показатели надежности невосстанавливаемых систем и их элементов.

3. Методика анализа надежности систем и их элементов по данным эксплуатации.

Зависимость между показателями надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем можно получить путем решения следующего интегрального уравнения, устанавливающего связь между параметром потока отказов $\omega(t)$ и законом распределения отказов $f(t)$:

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t \omega(\tau) f(t - \tau) d\tau.$$

Возможны два способа решения этого уравнения: аналитический и численный. При определении показателей надежности невосстанавливаемых систем по данным об отказах восстанавливаемых систем применять численный метод нецелесообразно. Ниже излагается инженерная методика анализа надежности техники по данным ее эксплуатации, основанная на аналитическом решении интегрального уравнения.

1). По данным эксплуатации определяется параметр потока отказов $\omega(t)$. Результаты расчетов представляются в виде таблицы и вычисляются по формуле:

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t},$$

где $n(\Delta t)$ — число отказов за промежуток времени Δt , N_0 — количество систем, находящихся в эксплуатации.

2). Параметр потока отказов представляется в виде формулы. Задача решается методами аппроксимации, приближенными в узлах. Вид функции интерполяции $\omega(t)$ выбирается на основе анализа исходных данных, возможностей универсальных математических программных средств и физической сущности случайных процессов — отказов исследуемой техники.

3). Функция $\omega(t)$ записывается в виде преобразования Лапласа $\omega(s)$.

4). Определяется преобразование Лапласа плотности распределения времени до отказа $f(s)$. Получение функции $f(s)$ осуществляется путем решения приведенного интегрального уравнения. Уравнение представляет собой свертку функций и в преобразовании Лапласа имеет вид:

$$\omega(s) = f(s) + \omega(s)f(s)$$

или

$$f(s) = \frac{\omega(s)}{1 + \omega(s)}.$$

5). Находится обратное преобразование Лапласа функции $f(s)$. Полученное выражение закона распределения времени до отказа используется для определения основных показателей надежности системы.

6). Определяются основные показатели надежности системы. Вероятность безотказной работы $P(t)$, среднее время безотказной работы T_1 и интенсивность отказов $\lambda(t)$ определяются по формулам:

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt, \quad T_1 = \int_0^{\infty} P(t) dt, \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

Наиболее эффективным способом реализации предложенной методики является применение универсальных математических программных средств символьной математики. Наиболее популярными из них являются: Mathematica, Maple, Derive, Mathcad, Matlab. Применение двух последних пакетов не целесообразно ввиду их невысокой интеллектуальности, затрудняющей эффективно реализовать методику. Использование системы Derive 5 может быть эффективным, если оригинал функции $f(s)$ определить с помощью других перечисленных систем. Анализ показывает, что реализация методики в полном объеме возможна лишь с помощью универсальных программных средств Mathematica и Maple. Мы отдаем предпочтение пакету Mathematica как наиболее удобному в общении, имеющему превосходные графические возможности и простые способы решения задач при большом числе вариантов, например при анализе надежности системы и большого числа ее подсистем.

Тема 4. Анализ надежности сложных систем с учетом их физической реализуемости

В большинстве практических случаев расчет надежности сложных систем с помощью точных аналитических методов невозможен. Одним из возможных способов решения этой проблемы является создание приближенных аналитических методов и компьютерных технологий решения задач надежности. Большинство существующих приближенных методов основаны на допущении о справедливости экспоненциальных законов распределения времени до отказа и времени восстановления. Далее рассматриваются способы и методы анализа надежности при экспоненциальных законах распределения времени до отказа и времени восстановления, хотя идеи этих методов общие и во многих случаях могут использоваться при любых законах отказов и восстановлений.

1. Описание функционирования системы графом типа дерева.

Идея этого способа проста: функционирование системы в смысле надежности, описываемое многосвязным графом, приводится к такой модели, при которой многосвязный граф преобразуется в граф типа дерева. Это может существенно упростить вычисления показателей надежности восстанавливаемой системы, таких как коэффициент готовности, наработка на отказ, среднее время восстановления. Одним из способов преобразования графа в граф типа дерева является выбор дисциплины обслуживания системы. При дисциплине обслуживания с обратным приоритетом и любом виде резервирования функционирование системы часто описывается графом типа дерева. Основанием для такого преобразования является слабая зависимость показателей надежности системы от приоритета обслуживания. Убедимся в этом на примере.

Пример. Структурная схема системы приведена на рисунке. Граф состояний представлен следующим рисунке для случая обратного приоритета в обслуживании и для случая прямого приоритета в обслуживании. Необходимо оценить влияние приоритета обслуживания на наработку на отказ.

Решение. Из графов видно, что состояния (0) и (1) являются исправными.

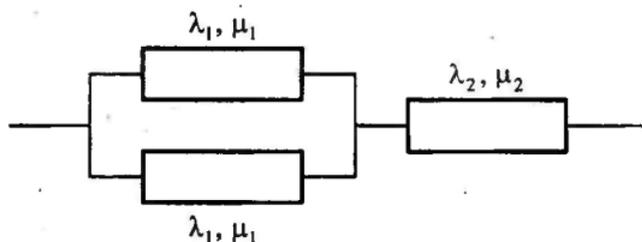


Рис.3. Структурная схема системы

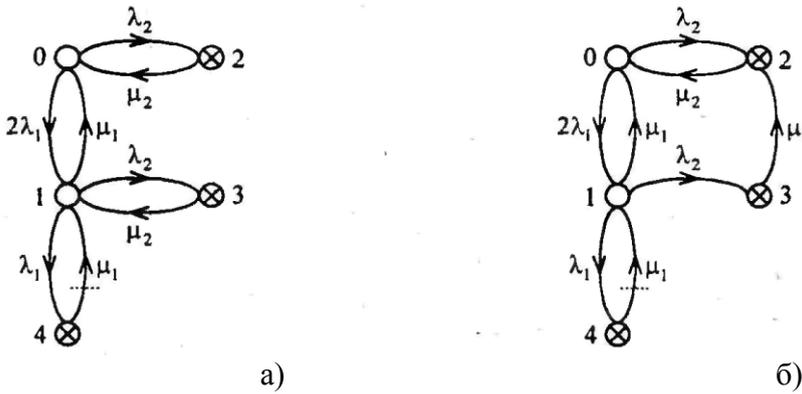


Рис.4

Графы состояний системы: случай обратного приоритета обслуживания (а), случай прямого приоритета обслуживания (б)

Тогда на основании известных формул имеем:

□ прямой приоритет обслуживания:

$$T = \frac{P_0 + P_1}{\mu_2 P_2 + \mu_1 P_4}$$

□ обратный приоритет обслуживания:

$$T = \frac{P_0 + P_1}{\mu_2 P_2 + \mu_2 P_3 + \mu_1 P_4}.$$

В результате решения системы уравнений получим значения вероятностей состояний системы. Подставляя эти значения в выражения для T , получим:

□ прямой приоритет обслуживания:

$$T = \frac{2\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1}{2\lambda_1^2 + 2\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2(\lambda_2 + \mu_1)};$$

□ обратный приоритет обслуживания:

$$T = \frac{2\lambda_1 + \mu_1}{2\lambda_1^2 + 2\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\mu_1}.$$

Результаты расчетов по приведенным формулам показывают, что наработка на отказ практически не зависит от дисциплины обслуживания в широком диапазоне изменения интенсивностей отказов элементов и интенсивностей обслуживания.

Описание функционирования системы графом типа дерева существенно упрощает расчеты показателей надежности, особенно топологическим методом. Решение можно получить в аналитическом виде непосредственно по графу состояний в одну строку.

2. Метод эквивалентных схем.

Идея метода состоит в следующем. Из физических соображений путем качественного анализа исходной структурной схемы анализируемой системы находятся две эквивалентные структурные схемы, которые должны удовлетворять следующим условиям: □ одна из структурных схем по сравнению с исходной более надежна, другая — менее надежна; □ расчет показателей надежности эквивалентных схем можно легко выполнить известными методами; □ эквивалентные структурные схемы должны позволять определять диапазон значений показателей надежности, удовлетворяющий требованиям точности.

3. Системы с автоматом контроля и коммутации.

Модели расчета надежности зачастую не учитывают влияния переключющих устройств. Поэтому значения показателей надежности, таких как вероятность безотказной работы или коэф-

фициент готовности, бывают неоправданно завышенными. В действительности время подключения резервных элементов может оказать существенное влияние на надежность систем, что необходимо учитывать при их проектировании. Существующие в настоящее время методы оценки надежности систем при наличии переключающих устройств, как правило, обладают следующими недостатками: □ пригодны только для систем, состоящих из сравнительно небольшого числа элементов, например для дублированных систем; □ распределение времени безотказной работы элементов предполагается экспоненциальным; □ время переключения на резерв обычно считается постоянным; □ методы являются эвристическими и не позволяют указать оценку погрешности. Одним из путей анализа описанных выше систем с произвольными распределениями времени до отказа переключателя, элементов системы и времени переключения на резерв является составление и решение системы интегральных уравнений. Подход, основанный на составлении математической модели в виде системы интегральных уравнений, не только позволяет учесть в резервированных системах время переключения на резерв, но также дает возможность избежать перечисленных выше недостатков. Основной целью данного раздела является поиск аналитического решения получаемых систем интегральных уравнений. Приводятся численные примеры, демонстрирующие влияние различных типов переключателей на надежность системы в целом.

3. Анализ надежности системы с учетом неодновременности работы ее элементов.

Практически в любой сложной системе элементы работают не одновременно. Поэтому в расчетах необходимо моделировать время функционирования системы. Введем новое в теории надежности понятие: собственное время работы системы и определим его влияние на надежность. Предположим, что элементы системы могут работать лишь часть календарного времени и простаивать в течение остальной его части. Интервалы простоя могут быть как детерминированные, так и случайные. Мы ограничиваемся здесь рассмотрением только детерминированных интервалов простоя. Моменты времени изменения интенсивностей отказов для части элементов являются моментами реконфигурации всей системы. Между моментами реконфигурации системы все элементы имеют постоянные интенсивности отказов и восстановлений. Предполагается, что интервалы простоя повторяются через определенный период функционирования системы T . Однако это не означает, что система в начале каждого периода становится новой. Надежность системы зависит от ее предыдущего функционирования, и в начале каждого периода она имеет другой ресурс по сравнению с началом предыдущего периода. В каждый момент времени, соответствующий началу и концу простоя, приходится перестраивать граф состояний и получать новые значения для интенсивностей переходов. Начальные условия в каждом из интервалов образуются из расчетов для предыдущего интервала, что обеспечивает непрерывность перехода через момент реконфигурации системы.

Тема 5. Методы обеспечения и повышения надежности техники

1. Классификация методов.

Методы обеспечения и повышения надежности техники можно сформулировать и научно обосновать, если проанализировать функциональные связи между показателями надежности и расчетные соотношения для показателей надежности сложных систем. Вероятность безотказной работы невосстанавливаемой системы $P_c(t)$ с основным соединением элементов выражается формулой

$$P_c(t) = e^{-\int_0^t \lambda_c(t) dt},$$

где $\lambda_n(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$ — интенсивность отказов системы, состоящей из n элементов. Из этого соотношения следует, что надежность системы H является функцией $t, n, \lambda_i, i = 1, 2, \dots, n$. Отсюда

очевидно, что для обеспечения надежности необходимо: упрощать систему (уменьшать число элементов n), снижать интенсивность отказов элементов λ_i , сокращать время непрерывной работы системы t . Показателями надежности восстанавливаемых систем являются: функция готовности $K_{\Gamma}(t)$, коэффициент готовности K_{Γ} , наработка на отказ T , параметр потока отказов $\omega(t)$. Основной формулой определения коэффициента готовности является

$$K_{\Gamma} = \frac{T}{T + T_{\text{в}}},$$

где $T_{\text{в}}$ — среднее время восстановления системы.

Для повышения готовности системы необходимо повышать ее ремонтпригодность (увеличивать) и выбирать рациональную дисциплину обслуживания (число ремонтных органов, приоритетность обслуживания). Современные технические системы настолько сложны, а требования их надежности столь высокие, что перечисленные ранее методы часто недостаточны для удовлетворения требований на показатели надежности. Приходится прибегать к крайним мерам — вводить избыточность в структуру системы, в процессе ее эксплуатации проводить такие мероприятия, как профилактика, ремонт, доработка, продление ресурса. В результате функция надежности зависит от десяти параметров (при желании их количество можно несколько увеличить), имеющих разное влияние на надежность техники. Поэтому целесообразно классифицировать их по ряду признаков. Одним из признаков может быть период реализации: в процессе проектирования, изготовления, эксплуатации. Рассматриваются методы обеспечения и повышения надежности более подробно. Указывается на их возможности, достоинства и недостатки.

1. Методы обеспечения и повышения надежности техники в процессе проектирования.

Расчеты показывают, что упрощение системы, повышение надежности элементов или сокращение времени непрерывной работы системы не могут обеспечить необходимую вероятность безотказной работы. Применение избыточности в процессе проектирования — единственный способ обеспечения требуемой надежности.

2. Обеспечение надежности техники в процессе производства и эксплуатации.

Известно, что на начальной стадии эксплуатации техники (период приработки) возникает большое количество отказов за счет ошибок технологии производства, недоброкачественных элементов, человеческого фактора. Для обеспечения надежности техники в процессе ее эксплуатации целесообразно участок приработки пройти на предприятии изготовителя. Однако то мероприятие слишком дорогое, поэтому изготовитель в большинстве случаев выпускает технику, не прошедшую этапа приработки. Взамен этого он дает пользователю гарантию на срок, близкий к периоду приработки, который проходит у потребителя. Изготовитель проводит еще одно важное мероприятие, обеспечивающее требования надежности. Он выполняет доработку техники, если в процессе эксплуатации обнаружены явные дефекты производства. Повысить надежность техники в процессе эксплуатации нельзя. Ее можно только обеспечить и поддерживать на необходимом уровне. Для этого проводятся следующие мероприятия: профилактика, контроль состояния, восстановление и ремонт. Целью всех этих мероприятий является продление периода нормальной эксплуатации, когда интенсивность отказов является величиной постоянной.

3. Влияние резервирования на интенсивность отказов системы.

Предположим, что система представляет собой последовательное в смысле надежности соединение резервированных подсистем, элементы которых имеют различную надежность. Тогда имеют место следующие свойства систем с постоянно включенным резервом и произвольными законами распределения элементов: □ в начальный момент эксплуатации надежность системы равна надежности нерезервированной части; □ в любой момент времени интенсивность отказов системы не превышает интенсивности отказов нерезервированной системы, составленной из наихудших элементов каждой подсистемы; □ при длительной эксплуатации надежность системы

стремится к надежности нерезервированной системы, составленной из наиболее надежных элементов каждой подсистемы.

3. Надежность систем из элементов с несколькими состояниями.

Существующие методы позволяют вычислять показатели надежности технических систем, как правило, при условии, что каждый элемент системы может пребывать лишь в двух возможных состояниях: работоспособном и неработоспособном. Однако в реальных условиях функционирования технической системы некоторые или все ее элементы могут иметь промежуточные состояния, определяемые условиями эксплуатации системы. Так, например, при переменных условиях эксплуатации нагрузка на работающие элементы системы может изменяться с течением времени, что влияет на изменение законов распределения времени безотказной работы элементов (или только их параметров) и может восприниматься как наличие у элементов нескольких работоспособных состояний. Эти состояния естественным образом упорядочены. Состояние обслуживания отказавшего элемента также может представляться в виде нескольких упорядоченных отказовых состояний. Так, например, после отказа элемента необходимо сначала обнаружить и локализовать отказ, затем доставить запасной элемент и лишь потом приступить к его восстановлению. Время обнаружения неисправности, время доставки запасного элемента и время непосредственного восстановления отказавшего элемента распределены обычно по различным законам. Время пребывания элемента в каждом своем состоянии будем считать независимыми случайными величинами с произвольными распределениями. Предполагается, что переход от одного состояния к другому мгновенный. Рассмотрим систему, образованную из элементов с несколькими состояниями. Во время нахождения элемента в каком-либо состоянии другие работоспособные элементы могут отказывать, а отказавшие — восстанавливаться, если имеются свободные ремонтные единицы. Используя аппарат интегральных уравнений, можно показать, что функционирование описанной системы эквивалентно функционированию аналогичной системы, элементы которой имеют только два состояния. Эти состояния получаются в результате объединения всех работоспособных состояний и всех отказовых состояний. При этом плотности распределения времени пребывания в укрупненных состояниях равны сверткам плотностей отдельных состояний. Значения показателей надежности, вычисленные для системы с несколькими состояниями, такие же, как и для системы с укрупненными состояниями. Приведенное свойство дает возможность существенно сократить общее число состояний технической системы. Так, например, для дублированной системы с постоянно включенным резервом и полностью ограниченным восстановлением, каждый элемент которой обладает n состояниями, общее число состояний уменьшается с $(3n^2 + 2n)$ до 5.

Тема 6. Научные методы эксплуатации техники.

1. Два вида эксплуатации техники.

Существует два вида эксплуатации техники: по назначению и техническая эксплуатация. Они оказывают разное влияние на надежность. Надежность техники в процессе ее эксплуатации по назначению зависит от условий эксплуатации. Большие нагрузки, неумелое управление, плохие условия хранения, не своевременное проведение профилактик и другие факторы сокращают период нормальной эксплуатации, увеличивают интенсивность отказов техники. Причиной отказа в таких случаях часто называют человеческий фактор. Неумелая эксплуатация техники по назначению нередко приводит к снижению ее эффективности. Вот типичный пример. Самолет не вылетел по назначению из-за того, что экипаж, по условиям его труда, должен отдыхать определенное время после посадки самолета. Воздушное судно в исправном состоянии, пассажиры ожидают вылета, а его нет. Коэффициент готовности системы невысокий. Наличие резервного экипажа может существенно его повысить. При наличии нескольких самолетов такой резерв является скользящим: один экипаж может заменить любой другой из общего их числа. Методами обеспечения и повышения надежности техники в процессе эксплуатации по назначению являются: □ по-

вышение квалификации пользователя; □ облегчение режимов эксплуатации; □ обеспечение нормальных условий хранения; □ резервирование объектов эксплуатации, в частности организация многоканальной системы эксплуатации по назначению. Техника и система ее эксплуатации по назначению образуют единую систему с основным соединением элементов. Она допускает применение структурного раздельного резервирования, которое может существенно повысить показатели надежности системы.

2. Способы поддержания надежности техники в процессе ее технической эксплуатации.

При анализе надежности сложных систем значительное внимание уделяется вопросам определения слабых звеньев систем. Эта проблема особенно актуальна при анализе надежности систем в условиях ограниченных ресурсов. Поскольку системы содержат большое количество элементов, то в условиях ограниченных ресурсов обеспечить повышение надежности путем улучшения качества одновременно всех элементов не представляется возможным. Однако подсистемы играют при функционировании объекта далеко не одинаковую роль, и отказы их компонентов могут приводить к разным последствиям. Поэтому необходимо сосредоточить усилия на совершенствовании критичных элементов и узлов, играющих наиболее важную роль в обеспечении надежности и уменьшении риска. Свойство критичности элемента отражает возможность возникновения отказа, определяет степень влияния элемента на работоспособность системы в целом и учитывает тяжесть последствий отказа. В инженерной практике системы с различным функциональным назначением, такие как энергетические установки, трубопроводы, электрические кабели, космические системы и т. д., характеризуются набором частных показателей критичности.

Для организации нормативно-технического обеспечения и сопровождения данными критичных элементов на различных этапах восстановления необходимо создание баз данных о дефектах и их расположениях, размерах, результатах испытаний и диагностики, проблемах восстановления, структурных схемах систем, деревьях отказов и т. д. Эти данные являются важными как для оценки вероятности проявления дефектов, так и для более тщательного их изучения. Ведение "информационного паспорта" исследуемых критичных элементов с данными о технико-экономических показателях и операциях, которые выполнялись с элементами на предыдущих периодах восстановления, позволяют реализовать наиболее рациональные пути и способы устранения дефектов. На основе анализа информационного паспорта элемента для различных периодов восстановления можно контролировать развитие дефекта, сравнивать обнаруженные дефекты с определенными эталонами для их ранжирования, проводить классификационный анализ, принимая к вниманию аспекты, связанные с безотказностью и ресурсами для системы. Информационный паспорт элементов — это также основа для выбора и построения принципов контроля с учетом технических характеристик и экономических показателей. Отсутствие эксплуатационных данных и материалов диагностики и контроля не позволяет рационально организовывать эксплуатацию систем таким образом, чтобы расходовать технический ресурс как можно дольше, не снижая при этом уровень надежности в целом.

При решении задач восстановления актуальными являются модели и методы планирования восстановления элементов систем, которые учитывают возможности совмещения отдельных операций технического обслуживания, ремонта и технологических процессов, методы совершенствования расписаний обслуживания с учетом различных критериев и т. д. Для подготовки технического обслуживания критичных элементов необходимо также планировать обеспечение их различного рода ресурсами и разработать модели расходования ресурсов на основе теории управления запасами. Важными являются задачи планирования объемов и сроков проведения технического обслуживания, разработки оптимальных стратегий ремонтов по различным показателям готовности, стоимости и т. д. Основанием для назначения того или иного вида ремонта является выработка технологическим оборудованием технического ресурса, при котором создается угроза безопасности объекта. При разработке таких моделей необходимо формировать показатели

критериев и учитывать ограничения на ресурсы: численность специалистов, участвующих в проведении эксплуатационных процессов, объем оборудования, финансовые затраты, временные ограничения на восстановление. Объемы ремонтно-профилактических работ для каждого агрегата или системы зависят от экспертной информации о величине его остаточного ресурса, интенсивности отказов, результатов контроля систем, выделенных ресурсов и т. д. При проведении работ могут быть задействованы различное число бригад, ремонтных органов, оборудование разного типа и т. д. От этих затрат зависит качество и сроки проведения работ, что и определяет время достижения предельного состояния системы после восстановления.

В процессе функционирования сложной технической системы ухудшаются характеристики ее элементов, происходит разрегулировка узлов, наблюдается явление старения техники. Профилактика предназначена для устранения этих дефектов. При постоянной интенсивности отказов система в профилактике не нуждается. Она проводится лишь частично в процессе восстановления отказавших элементов. Профилактика нужна как средство продления периода эксплуатации системы, когда интенсивность отказов - величина переменная. В процессе старения системы она необходима для снижения скорости роста. Периодичность профилактики можно научно обосновать по статистическим данным об отказах техники и известным требованиям на показатели ее надежности.

Тема 7. Техническая диагностика АСУ. Создание СТД.

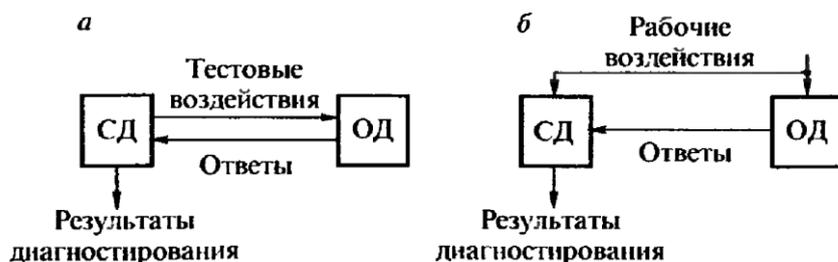
1. Основные понятия и определения. Задачи технической диагностики

Под *технической диагностикой* называется область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объекта. Техническое состояние характеризуется в определенный момент времени значениями параметров, установленных технической документацией на объект. Процесс определения технического состояния объекта называется диагностированием. Результат диагностирования, т.е. заключение о техническом состоянии объекта, называется диагнозом. В общем случае различают три задачи по определению технического состояния объекта. *Задача диагноза* – это определение состояния, в котором находится объект в данный момент. *Задача прогноза* состоит в предсказании состояния, в котором окажется технический объект в некоторый последующий момент времени. Задача генезиса заключается в определении состояния, в котором находился ТО ранее. Правильное решение этой задачи важно при определении причин отказов систем с целью их дальнейшего предупреждения.

Различают пять задач диагностирования: *проверка исправности*, при которой решается задача обнаружения в объекте любой неисправности, переводящей ОД из множества исправных состояний в множество неисправных состояний; *проверка работоспособности*, при которой решается задача обнаружения тех неисправностей, которые переводят ОД из множества работоспособных систем в множество отказавших систем; *проверка правильности функционирования* – решается во время работы ОД; *поиск неисправностей*, при котором решается проблема точного указания в объекте неисправного элемента или множества элемента, среди которых находится неисправный элемент; *прогнозирование состояния* ОД, для решения которой изучается характер изменения диагностических параметров и на основе сформировавшихся тенденций предсказываются значения параметров в будущий момент времени.

2. Системы диагностирования.

При решении какой-либо задачи диагностирования исследуемый объект подвергается некоторым испытаниям. Этот процесс представляет собой многократную подачу на объект определенных входных воздействий, многократное измерение и анализ ответов (выходных сигналов или реакций) на эти воздействия, которые могут поступать на входы объекта от средств диагностирования (СД) или являться внешними (рабочими) сигналами, определяемыми алгоритмом функционирования устройства. Измерение и анализ ответов объекта всегда осуществляется средствами диагностирования. Взаимодействующие между собой ОД и СД образуют систему диагностирования. Различают два вида систем диагностирования (рис.5).



а) – тестовое диагностирование б) – функциональное диагностирование

Рис.5

Система *тестового диагностирования* (рис.5,а) предусматривает подачу воздействий на ОД со стороны СД. Других воздействий на ОД не поступает. Поэтому как состав, так и последовательность этих воздействий можно выбирать исходя из условий эффективной организации процесса диагностирования. При этом каждое очередное воздействие можно назначать в зависимости от ответов объекта на предыдущие воздействия. Воздействия в такой системе называют тестовыми.

В системе функционального диагностирования (рис.5,б) СД не формирует воздействий на ОД. На ОД и СД поступают рабочие воздействия, предусмотренные алгоритмом функционирования объекта. СД действует в процессе рабочего функционирования ОД и решает задачи правильности функционирования и поиска неисправностей, нарушающих нормальное функционирование.

3. Анализ эффективности систем управления при многофазном режиме функционирования.

При проектировании сложных управляющих комплексов встает задача обеспечения требований как по точности и качеству управления, так и по надежности и эффективности их функционирования. При этом анализ надежности и эффективности систем в большинстве случаев осуществляется на основе синтезированной структуры системы без учета всего жизненного цикла ее функционирования. Трудности анализа обусловлены отсутствием в настоящее время общепризнанных критериев оценки эффективности систем с учетом всего жизненного цикла их функционирования. Полный жизненный цикл систем составляет множество повторяющихся периодов эксплуатации. При этом для большого класса систем любой ремонт или восстановление возможны только между периодами эксплуатации. Во время эксплуатации восстановление не допускается, и система функционирует по своему прямому назначению.

Особенность функционирования систем обеспечения безопасности и противоаварийных систем состоит в том, что, находясь в режиме постоянного функционирования, они контролируют состояние объекта управления, не производя на него никаких воздействий до возникновения аварийных ситуаций. При возникновении аварийной ситуации они должны оперативно ее распознать и сформировать управляющие воздействия по ее предотвращению. Для выполнения возложенных на систему функций она должна периодически получать сигналы с датчиков физических параметров объекта, на их основе оценивать вектор состояния объекта и область его допустимых значений, определять принадлежность вектора состояния области допустимых значений и только при его выходе из допустимой области формировать противоаварийные воздействия. Каждый период эксплуатации таких систем — это последовательность чередующихся между собой фаз по опросу и оценке состояния объекта, а сами системы — это сложный комплекс взаимосвязанных подсистем и устройств, каждая из которых удовлетворяет определенным техническим требованиям и обладает собственными показателями надежности, контролируемости и восстанавливаемости на каждой из фаз. Основной целью функционирования таких систем является формирование управляющего воздействия при возникновении аварийной ситуации. В этих условиях за критерий оценки эффективности функционирования системы, учитывающий весь ее жизненный цикл, может

быть принята вероятность выдачи противоаварийного воздействия при выходе вектора состояния объекта из допустимой области в любой момент времени на периоде эксплуатации системы.

Рассматриваемый класс систем представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных подсистем и устройств, среди которых можно выделить как минимум три подсистемы: подсистему сбора информации (c_1), подсистему обработки информации и формирования сигналов управления (c_0) и подсистему выдачи управляющих воздействий (c_2). Подсистема c_1 включает в свой состав набор датчиков, коммутаторов, блоков кодирования информации и т. д., обеспечивающих формирование вектора наблюдений $Y(t)$ за состоянием управляемого объекта. Подсистема c_0 представляет собой вычислительный комплекс, который управляет процессом опроса и приема информации о векторе $Y(t)$, на его основе оценивает вектор состояния управляемого объекта $X(t)$ и область его допустимых значений $Q(x,t)$. При значениях $X(t)$, принадлежащих $Q(x,t)$, никаких управляющих воздействий на объект не производится, и подсистема c_2 в работу не включается. При выходе $X_{кр}(t)$ из $Q(x,t)$ подсистема c_0 формирует вектор управлений U_m , поступающий на подсистему c_2 . Подсистема c_2 служит для формирования противоаварийных управляющих воздействий на объект управления и в ее состав входят исполнительные механизмы, вспомогательные подсистемы (электрооборудования, гидравлики и т. п.), датчики положения исполнительных органов, локальные регуляторы и т. д. Обобщенная функциональная схема данного класса систем управления приведена на рис. 6.

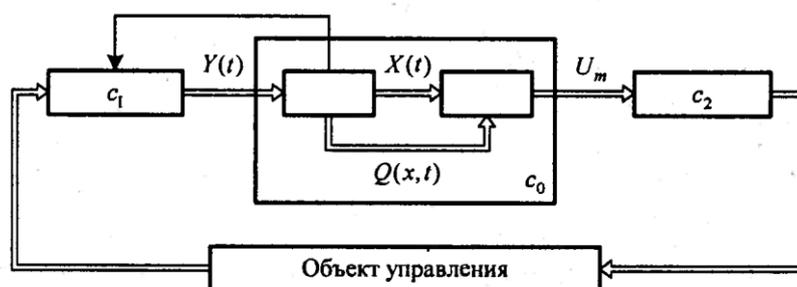


Рис. 6. Функциональная схема системы управления

Отличительной чертой данных систем является то, что подсистема c_0 находится в постоянной работе, подсистема c_1 периодически включается в работу под управлением c_0 , а подсистема c_2 , находясь практически весь свой жизненный цикл в состоянии готовности, может так и не вступить в работу. Вместе с тем при возникновении аварийной ситуации подсистема c_2 должна немедленно включиться в работу, что накладывает на нее высокие требования с точки зрения надежности ее функционирования. Мы предполагаем, что каждая из подсистем удовлетворяет требуемым техническим показателям по точности, качеству, быстродействию и т. п., но обладает собственными показателями надежности, возможностью контролируемости и восстанавливаемости на каждом из этапов. В этих условиях актуальной является разработка критерия оценки эффективности функционирования системы, учитывающего весь ее жизненный цикл как последовательность чередующихся между собой фаз, что позволит проводить сравнительный анализ различных вариантов структур построения систем данного класса.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Задачей практических занятий является закрепление знаний, полученных на лекциях, выработка практических навыков применения информации, необходимой инженеру в процессе его деятельности. При решении задач обращается внимание на логику решения, на правильность используемых методов. После этого проводится анализ полученного решения, результат сопоставляется с реальными объектами, что вырабатывает у студентов инженерную интуицию.

К выполнению заданий следует приступать после прочтения теоретического материала, изложенного на лекциях и в рекомендуемой литературе. При возникновении затруднений с выполнением заданий необходимо проконсультироваться у преподавателя. Далее по каждой теме приводится по одному примеру или одной задаче для демонстрации разделов теории надежности.

Тема 1. Введение. Основные понятия теории надежности. Критерии надежности.

Задачи, которые встречаются при определении количественных характеристик надежности, могут быть разбиты на следующие группы:

- 1) определение количественных характеристик надежности по статистическим данным об отказах изделия;
- 2) определение количественных характеристик надежности изделия при известном аналитическом выражении одной какой-либо характеристики.

При решении задач первой группы используются статистические определения количественных характеристик надежности, при решении задач второй группы — вероятностные определения характеристик и аналитические зависимости между ними.

Пример 1.7. Система состоит из 5 приборов, причем отказ любого одного из них ведет к отказу системы. Известно, что первый прибор отказал 34 раза в течение 952 час. работы, второй — 24 раза в течение 960 час. работы, а остальные приборы в течение 210 час. работы отказали 4, 6 и 5 раз соответственно. Требуется определить наработку на отказ системы в целом, если справедлив экспоненциальный закон надежности для каждого из пяти приборов.

Решение. Для решения данной задачи воспользуемся следующими соотношениями:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i \text{ и } t_{cp} = \frac{1}{\lambda_c}.$$

1. Определим интенсивность отказов для каждого прибора:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{34}{952} = 0,0357 \frac{1}{\text{час}}, \quad \bar{\lambda}_2 = \frac{24}{960} = 0,025 \frac{1}{\text{час}},$$

$$\bar{\lambda}_{3, 4, 5} = \frac{4 + 6 + 5}{210} = 0,0714 \frac{1}{\text{час}}.$$

27

Тема 2. Расчет надежности АСУ. Типовые случаи расчетов надежности.

Резервированным соединением изделий называется такое соединение, при котором отказ наступает только после отказа основного изделия и всех резервных изделий. Общим резервированием называется метод повышения надежности, при котором резервируется изделие в целом. Раздельным резервированием называется метод повышения надежности, при котором резервируются отдельные части изделия. Основным параметром резервирования является его кратность. Под кратностью резервирования m понимается отношение числа резервных изделий к числу резервируемых (основных).

По способу включения резервирование разделяется на постоянное и резервирование замещением. Постоянное резервирование — резервирование, при котором резервные изделия подключены к основным в течение всего времени работы и находятся в одинаковом с ними режиме. Резервирование замещением — резервирование, при котором резервные изде-

лия замещают основные после их отказа.

Пример. Цифровая вычислительная машина состоит из 1024 однотипных ячеек и сконструирована так, что имеется возможность заменить любую из отказавших ячеек. В составе ЗИП имеется 3 ячейки, каждая из которых может заменить любую отказавшую. Требуется определить вероятность и среднюю наработку до первого отказа ЦВМ в течение 10000 час., если известно, что интенсивность отказов ячейки равна $0,12 \cdot 10^{-6}$ 1/час. Под отказом будем понимать событие, когда ЦВМ не может работать из-за отсутствия ЗИПа, т. е. когда весь ЗИП израсходован и отказала еще одна ячейка памяти ЦВМ.

Решение. Так как любая ячейка из состава ЗИПа может заменить любую отказавшую ячейку ЦВМ, то имеет место «скользящее» резервирование. В нашем случае число элементов основной системы $n = 1024$, интенсивность отказов нерезервированной

системы $\lambda_0 = n\lambda = 1024 \cdot 0,12 \cdot 10^{-6} = 1,23 \cdot 10^{-4}$ 1/час, число резервных элементов $m_0 = 3$. Подставляя полученные соответственные формулы, получим вероятность БОР системы:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^{m_0} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda_0 t} \left(1 + \lambda_0 t + \frac{\lambda_0^2 t^2}{2} - \dots - \frac{\lambda_0^3 t^3}{6} \right) = e^{-1,23 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4} \left(1 + 1,23 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4 + \frac{(1,23 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4)^2}{2} + \frac{(1,23 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4)^3}{6} \right) \approx 0,96.$$

Средняя наработка до первого отказа:

$$T_{ср с} = T_{ср о} (m_0 + 1) = \frac{1}{\lambda_0} (m_0 + 1) = \frac{1}{1,23 \cdot 10^{-4}} (3 + 1) \approx 32500 \text{ час.}$$

Тема 3. Контроль технического состояния объектов в процессе их эксплуатации.

В качестве примера ниже приводится расчет надежности самолета ТУ-154 М по данным его эксплуатации с помощью приведенной выше методики. В нижеследующей таблице приведены статистические данные об отказах самолета ТУ-154 М и его систем. Данные получены из эксплуатации восьми самолетов в течение двух лет их эксплуатации, отказы обобщались поквартально.

Число отказов самолета по годам и кварталам

Число отказов	260	431	421	306	351	369	546	363
Налет в часах	2351	4066	4596	3381	2630	3665	4585	3158

По данным таблицы определяются параметр потока отказов $\omega(t)$, вероятность безотказной работы $P(t)$, плотность распределения времени до отказа $f(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$. Расчеты выполнены с помощью универсального программного средства символьной математики Mathematica. Результаты расчета приведены в последующих таблицах.

Значение параметра потока отказов самолета

t , час	0	1175	4383	8714	12702	15708	18855	22980	26858
$\omega(t)$, час	0	0,0138	0,0132	0,0114	0,0113	0,0166	0,0125	0,0149	0,0144

Вероятность безотказной работы самолета

t , час	5	10	20	50	70	100
$P(t)$	0,966	0,933	0,871	0,708	0,617	0,5

Анализ надежности самолета ТУ-154 М и его систем позволяет сделать следующие важные выводы. Надежность анализируемых самолетов не удовлетворяет требованиям, которые предъявляются или должны предъявляться к воздушным судам гражданской авиации. Вероятность безотказной работы самолета в течение 100 часов налета всего лишь 0,5, т. е. 50% самолетного парка будет иметь отказы техники. Конечно, большинство отказов не будут приводить к авариям и катастрофам, однако среди них могут быть и такие. Часто причинами аварий и катастроф считается человеческий фактор. Данный анализ показывает, что велика доля в этом и низкой надежности техники. Интенсивность отказов самолета ТУ-154 М является возрастающей функцией времени, что свидетельствует об интенсивном старении техники. Резкое увеличение $\lambda(t)$ начинается после 400 часов его функционирования с момента наблюдения.

Тема 4. Анализ надежности сложных систем с учетом их физической реализуемости.

Вероятность безотказной работы преобразователя постоянного тока в переменный в течение $t = 1000$ час равна 0,95, т. е. $P(1000) = 0,95$. Для повышения надежности системы электроснабжения на объекте имеется такой же преобразователь, который включается в работу при отказе первого. Требуется рассчитать вероятность безотказной работы и среднюю заработку до первого отказа системы, состоящей из двух преобразователей.

Решение. Из условия задачи видно, что имеет место общее резервирование замещением кратности $m = 1$. Тогда при экспоненциальном законе надежности имеем:

$$P_{\tilde{n}}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda_0 t} (1 + \lambda_0 t) = 0,95(1 + 0,05) = 0,9975.$$

Так как в течение времени $t = 1000$ час $\lambda_0 t = 0,095$, то $\lambda_0 = 0,5 \cdot 10^{-4}$ 1/час, а средняя наработка до первого отказа нерезервированного преобразователя составит

$$T_{\tilde{n}\delta 0} = 1 / \lambda_0 = 20000 \div \text{а}\tilde{\text{n}}$$

Тогда средняя наработка до первого отказа системы будет равна:

$$T_{\tilde{n}\delta \tilde{n}} = T_{\tilde{n}\delta 0} (m + 1) = 2T_{\tilde{n}\delta 0} = 40000 \div \text{а}\tilde{\text{n}}$$

Тема 5. Методы обеспечения и повышения надежности техники.

Задача. Пусть проектируемая система состоит из $n = 1350$ элементов, средняя интенсивность отказов которых $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-6}$ час⁻¹. Система предназначена для длительной эксплуатации. Требованием на ее надежность является $P(250) > 0,97$. Предположим, что справедлив экспоненциальный закон распределения времени до отказа. Тогда вероятность безотказной работы системы (если не принимать мер по ее повышению) будет иметь значение:

$$P(250) = e^{-n\lambda t} = e^{-1350 \cdot 1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 250} = 0,667.$$

Надежность системы низкая, она не соответствует требованию. Какие же методы повышения надежности следует использовать для удовлетворения требований?

Применим структурное резервирование. При постоянном включении резерва

$$P_{\tilde{n}}(t) = 1 - (1 - p)^{m+1}.$$

Отсюда получаем:

$$m = \frac{\ln[1 - P_{\tilde{n}}(t)]}{\ln[1 - P(250)]} - 1 = 2,19.$$

При резервировании замещением и $m = 1$:

$$P_{\tilde{n}}(t) = e^{-\lambda t} (1 + \lambda t) = e^{-13501,2 \cdot 10^{-6} \cdot 250} = 0,937.$$

При резервировании замещением и $m = 2$:

$$P_{\tilde{n}}(t) = e^{-\lambda t} \left(1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} \right) = 0,992.$$

Таким образом, для обеспечения вероятности безотказной работы системы $P_c > 0,97$ необходимо применить резервирование замещением кратности $m = 2$.

Тема 6. Научные методы эксплуатации техники.

Пример. Пусть в эксплуатации находится n однотипных объектов (например, самолетов), обслуживаемых по назначению n эксплуатационниками (n экипажами самолета). Для повышения надежности системы введен один резервный экипаж. Необходимо оценить эффективность такого резервирования по коэффициенту простоя и наработке на отказ. Сделаем следующие допущения:
 все экипажи самолетов равноценные; справедлив экспоненциальный закон отказов экипажей. Коэффициент готовности и наработка на отказ системы с основным (последовательным) соединением имеют вид:

$$K_r = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1}{\mu_1} + \frac{\lambda_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\lambda_n}{\mu_n}}, \quad T = \frac{1}{\lambda_c},$$

где

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

На основании принятого допущения о равноценности экипажей $\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_n = \lambda$. Предполагая также, что $\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_n = \mu$, получим:

$$K_r = \frac{1}{1 + n\rho}, \quad T = \frac{1}{n\lambda},$$

где $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.

Тогда коэффициент простоя нерезервированной системы будет иметь вид:

$$K_n = 1 - K_r = \frac{n\rho}{1 + n\rho}.$$

Резервированная система представляет собой систему со скользящим резервом, реализованным по принципу замещения. Коэффициент готовности и наработка на отказ такой системы имеют вид:

$$K_r = \frac{1 + n\rho}{1 + n\rho + (n\rho)^2}, \quad T = \frac{1}{n\lambda} \left(1 + \frac{1}{n} \gamma \right),$$

где $\gamma = \frac{\mu}{\lambda}$.

Тогда коэффициент простоя выражается формулой:

$$K_n = \frac{(n\rho)^2}{1 + n\rho + (n\rho)^2}.$$

Выигрышем надежности по коэффициенту простоя G_n будем называть отношение коэффициента простоя нерезервированной системы к коэффициенту простоя резервированной системы. Тогда

$$G_n = \frac{1 + n\rho + (n\rho)^2}{n\rho(1 + n\rho)}.$$

Выигрышем надежности по наработке на отказ называется отношение наработки на отказ резервированной системы к наработке на отказ нерезервированной системы:

$$G_T = 1 + \frac{1}{n} \gamma.$$

Тема 7. Техническая диагностика АСУ. Создание СТД.

Для обнаружения дефектов и неисправностей АСУ и ее отдельные устройства подвергаются испытаниям – *тестированию*. Тестирование составляет основу процессов диагностирования и профилактических испытаний. Испытания, проверяющие соответствие устройства заданному алгоритму его функционирования, называются *функциональными*.

Основными методами детерминированной генерации тестов являются: метод таблиц истинности; *D*-алгоритм; метод ЭНФ и метод булевой производной. *Пример.* Дана схема, реализующая функцию $f(x) = x_1x_2 + x_3$. Найти тесты неисправностей $x_1/0$ и $x_1/1$.

Решение. Воспользуемся формулой булевой производной

$$\frac{df(x)}{dx_i} = f(x_1, x_2, \dots, 0, \dots, x_n) \oplus f(x_1, x_2, \dots, 1, \dots, x_n).$$

В результате получим:

$$\begin{aligned} \frac{df(x)}{dx_1} &= f(1 \cdot x_2 + x_3) \oplus f(0 \cdot x_2 + x_3) = (x_2 + x_3) \oplus x_3 = (x_2 + x_3)\overline{x_3} + \\ &+ (\overline{x_2} \overline{x_3})\overline{x_3} = \overline{x_2} \overline{x_3}. \end{aligned}$$

Тест для $x_1/0$ найдем из следующего условия: $x_1 \frac{df(x)}{dx_1} = 1$, т.е. $x_1 \overline{x_2} \overline{x_3} = 1$. Следовательно,

но, $x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 0$. Тест для $x_1/1$ найдем из условия: $\overline{x_1} \frac{df(x)}{dx_1} = 1$, т.е. $\overline{x_1} \overline{x_2} \overline{x_3} = 1$. Следова-

тельно, $x_1 = 0, x_2 = 1, x_3 = 0$.

3.МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа представляет собой особую, высшую степень учебной деятельности. Она обусловлена индивидуальными психологическими различиями обучающегося и личностными особенностями и требует высокого уровня самосознания, рефлексивности. Самостоятельная работа может осуществляться как во внеаудиторное время (дома, в лаборатории), так и на аудиторных занятиях в письменной или устной форме.

Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, в том числе с использованием автоматизированных обучающих систем, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям, зачетам и экзаменам. Организуется, обеспечивается и контролируется данный вид деятельности студентов соответствующими кафедрами.

Самостоятельная работа предназначена не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще, в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решить проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т. д. Значимость самостоятельной работы выходит далеко за рамки отдельного предмета, в связи с чем выпускающие кафедры должны разрабатывать стратегию формирования системы умений и навыков самостоятельной работы. При этом следует исходить из уровня самостоятельности абитуриентов и требований к уровню самостоятельности выпускников, с тем чтобы за весь период обучения достаточный уровень был достигнут.

При проведении самостоятельной работы, связанной с проработкой теоретического материала, студентам предлагается законспектировать рассматриваемый вопрос, в случае необходимости задать возникшие вопросы на практическом занятии или на консультации.

При изучении дисциплины «Диагностика и надежность автоматизированных систем» практикуются следующие виды и формы самостоятельной работы студентов:

- выполнение практических работ
- подготовка к устному опросу, к дискуссии
- подготовка к тестированию
- подготовка к письменной, контрольной работе, тестированию, контрольной точке;

Самостоятельная работа тесно связана с контролем (контроль также рассматривается как завершающий этап выполнения самостоятельной работы), при выборе вида и формы самостоятельной работы следует учитывать форму контроля.

Формы контроля при изучении дисциплины «Управление качеством»:

- устный опрос;
- дискуссия;
- контрольная работа;
- контрольная точка;
- письменная работа;
- тестирование.

Самостоятельная работа проводится в виде подготовительных упражнений для усвоения нового, упражнений при изучении нового материала, упражнений в процессе закрепления и повторения, упражнений проверочных и контрольных работ, а также для самоконтроля.

Для организации самостоятельной работы необходимы следующие условия:

- готовность студентов к самостоятельному труду;
- наличие и доступность необходимого учебно-методического и справочного материала;
- консультационная помощь.

Самостоятельная работа может проходить в лекционном кабинете, лаборатории, компьютерном зале, библиотеке, дома. Самостоятельная работа тренирует волю, воспитывает работоспособность, внимание, дисциплину и т.д.

Рекомендации по организации аудиторной самостоятельной работой

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию.

Основными видами аудиторной самостоятельной работы являются:

- выполнение практических работ по инструкциям; работа с литературой и другими источниками информации, в том числе электронными;
- само- и взаимопроверка выполненных заданий;

Выполнение практических работ осуществляется на практических занятиях в соответствии с графиком учебного процесса. Работа с литературой, другими источниками информации, в т.ч. электронными может реализовываться на лекционных и практических занятиях. Данные источники информации могут быть представлены на бумажном и/или электронном носителях, в том числе, в сети Internet. Преподаватель формулирует цель работы с данным источником информации, определяет время на проработку документа и форму отчетности.

Само- и взаимопроверка выполненных заданий чаще используется на лекционном, практическом занятии и имеет своей целью приобретение таких навыков как наблюдение, анализ ответов сокурсников, сверка собственных результатов с эталонами.

Рекомендации по организации внеаудиторной самостоятельной работы

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

При предъявлении видов заданий на внеаудиторную самостоятельную работу рекомендуется использовать дифференцированный подход к уровню подготовленности обучающегося. Перед выполнением внеаудиторной самостоятельной работы преподаватель проводит консультацию с определением цели задания, его содержания, сроков выполнения, ориентировочного объема работы, основных требований к результатам работы, критериев оценки, форм контроля и перечня литературы. В процессе консультации преподаватель предупреждает о возможных типичных ошибках, встречающихся при выполнении задания.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня подготовленности обучающихся.

Видами заданий для внеаудиторной самостоятельной работы могут быть:

- для овладения знаниями: чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы); составление плана текста; графическое изображение структуры текста; конспектирование текста; выписки из текста; работа со словарями и справочниками; учебно-исследовательская работа; использование аудио- и видеозаписей, компьютерной техники и Интернет-ресурсов и др.;
- для закрепления и систематизации знаний: работа с конспектом лекции (обработка текста); повторная работа над учебным материалом (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, аудио- и видеозаписей); составление плана и тезисов ответа; составление таблиц, глоссария для систематизации учебного материала; изучение словарей, справочников; ответы на контрольные вопросы; аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ и др.); подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции; подготовка рефератов, докладов; составление библиографии, заданий в тестовой форме и др.;
- для формирования умений: решение задач и упражнений по образцу; решение вариативных задач и упражнений; составление схем; проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности и др.

Для обеспечения внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине преподавателем разрабатывается перечень заданий для самостоятельной работы, который необходим для эффективного управления данным видом учебной деятельности обучающихся.

Преподаватель осуществляет управление самостоятельной работой, регулирует ее объем на одно учебное занятие и осуществляет контроль выполнения всеми обучающимися группы. Для удобства преподаватель может вести ведомость учета выполнения самостоятельной работы, что позволяет отслеживать выполнение минимума заданий, необходимых для допуска к итоговой аттестации по дисциплине.

В процессе самостоятельной работы студент приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Обучающийся самостоятельно определяет режим своей внеаудиторной работы и меру труда, затрачиваемого на овладение знаниями и умениями по каждой дисциплине, выполняет внеаудиторную работу по индивидуальному плану, в зависимости от собственной подготовки, бюджета времени и других условий.

Ежедневно обучающийся должен уделять выполнению внеаудиторной самостоятельной работы в среднем не менее 3 часов.

При выполнении внеаудиторной самостоятельной работы обучающийся имеет право обращаться к преподавателю за консультацией с целью уточнения задания, формы контроля выполненного задания.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы студентов может проводиться в письменной, устной или смешанной форме с представлением продукта деятельности обучающегося. В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы могут быть использованы зачеты, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и др.

Методические рекомендации по изучению теоретических основ дисциплин

Изучение теоретической части дисциплин призвано не только углубить и закрепить знания, полученные на аудиторных занятиях, но и способствовать развитию у студентов творческих навыков, инициативы и организовать свое время.

Самостоятельная работа при изучении дисциплин включает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- знакомство с Интернет-источниками;
- подготовку к различным формам контроля (тесты, контрольные работы);
- подготовку и написание рефератов;
- выполнение контрольных работ;
- подготовку ответов на вопросы по различным темам дисциплины в той последовательности, в какой они представлены.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплин, студентам лучше всего осуществлять весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение материала.

Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно прорабатывать и дополнять сведениями из других источников литературы, представленных не только в программе дисциплины, но и в периодических изданиях.

При изучении дисциплины сначала необходимо по каждой теме прочитать рекомендованную литературу и составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих тем курса. Для расширения знания по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы; проводить поиски в различных системах и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем.

При подготовке к контрольной работе необходимо прочитать соответствующие страницы основного учебника. Желательно также чтение дополнительной литературы. При написании контрольной работы ответ следует иллюстрировать схемами.

При выполнении самостоятельной работы по написанию реферата студенту необходимо: прочитать теоретический материал в рекомендованной литературе, периодических изданиях, на Интернет-сайтах; творчески переработать изученный материал и представить его для отчета в форме реферата, проиллюстрировав схемами, диаграммами, фотографиями и рисунками.

Тексты контрольных работ и рефератов должны быть изложены внятно, простым и ясным языком.

При ответе на экзамене необходимо: продумать и четко изложить материал; дать определение основных понятий; дать краткое описание явлений; привести примеры. Ответ следует иллюстрировать схемами, рисунками и графиками.

Методические указания по подготовке реферата

Реферат имеет большое значение в приобретении студентами навыков самостоятельной работы над источниками и литературой. В реферате студент должен на основании анализа доступных ему источников и литературы самостоятельно разработать одну из предлагаемых тем. В работе должны быть освещены с возможно большей полнотой все вопросы темы и сделаны обоснованные выводы. Кроме того, реферат должен показать, владеет ли студент литературным стилем и умеет ли он правильно оформлять письменные задания.

Важным моментом в подготовке реферата и в успешном его написании является выбор темы. Тема должна, во-первых, соответствовать интересам студента, во-вторых, быть обеспечена доступными для студента источниками и литературой.

Начиная работу по избранной теме, следует обратиться в первую очередь к литературе общего характера: соответствующим разделам учебников, статьям энциклопедий. Это позволит уяснить место темы в проблематике соответствующего периода, определить ее значимость и актуальность.

Важный этап работы – изучение источников и специальной литературы. Результатом работы с литературой, непосредственно посвященной избранной теме, либо отдельным ее аспектам, должен стать вывод о степени изученности темы.

В процессе изучения источников и литературы из них следует делать выписки на отдельных корточках или в тетрадах на одной стороне листа. На выписках должны фиксироваться данные о книге, из которой они сделаны (автор, название, место и год издания и обязательно страница) – это облегчит оформление научно-справочного аппарата работы.

После изучения литературы и источников следует составить план работы. Студент должен проявить самостоятельность в выборе узловых вопросов темы, уметь развернуть их в подробный план (т. е. выделить подзаголовки к вопросам), целесообразно выбрать для рассмотрения 2-3 вопроса. Работа должна четко раскрывать тему, экскурсы в сторону нежелательны. Содержание реферата должно соответствовать плану.

План помещается в начале реферата (после его названия, приводимого на первом, т. е. титульном листе). Он должен включать: введение, основную часть (вопросы плана), заключение, список использованных источников и литературу.

Во введении студент кратко обосновывает актуальность избранной темы реферата, раскрывает конкретные цели и задачи, которые он собирается решить в ходе своего небольшого исследования. В основной части подробно раскрывается содержание вопроса (вопросов) темы. Основная часть по объему должна занимать не менее 2/3 всей работы. Изложение материала должно идти четко по плану и иметь соответствующие подзаголовки. В заключении кратко должны быть сформулированы полученные результаты исследования и даны выводы. Кроме того, заключение может включать предложения автора, в том числе и по дальнейшему изучению заинтересовавшей его проблемы.

В приложении (приложения) к реферату могут выноситься таблицы, графики, схемы и другие вспомогательные материалы, на которые имеются ссылки в тексте реферата.

Реферат должен быть выполнен за один месяц до начала экзаменационной сессии.

Методические рекомендации к выполнению контрольной работы

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области физиологии и биохимии растений. К ее выполнению необходимо приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;
2. выработка навыков самостоятельной работы;

3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Контрольные выполняются студентами в аудитории, под наблюдением преподавателя. Тема контрольной работы известна и проводится она по сравнительно недавно изученному материалу.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, чётко и логично излагать свои мысли. Подготовку контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

Темы рефератов, варианты тестов, контрольных заданий и критерии оценки приведены в ФОС по дисциплине «Диагностика и надёжность автоматизированных систем» для направления подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев, И.Е. Надёжность электроснабжения. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Издательский дом МЭИ, 2014. — 174 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72244> — ЭБС «Лань»

2. Шакурский, А.В. Диагностика и надёжность автоматизированных систем. Теория надёжности: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие — Электрон. дан. — Пенза : ПензГТУ, 2011. — 153 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/62591>. — Загл. с экрана.

3. Диагностика и надёжность автоматизированных систем [Текст] : учеб. : рек. Мин. обр. РФ / Б. М. Бржозовский [и др.] ; ред. Б. М. Бржозовский. - 3-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2012. - 352 с.

4. Александровская, Л.Н. Современные методы обеспечения надёжности сложных технических систем: учеб.: рек. Мин. обр. РФ/ Л.Н. Александровская, А.П. Афанасьев, А.А. Лисов – М.: Логос, 2001 –207с.

5. Надёжность систем энергетики и их оборудования [Текст] : справочник: В 4х т. / Ред. Ю.Н. Руденко. - М.: Энергоатомиздат, 2000. Т. 2 : Надёжность электроэнергетических систем. - 566 с.

6. Половко А. М. Основы теории надёжности [Текст] : практикум: рек. УМО / А. М. Половко, С. В. Гуров. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 558 с.

7. Половко А. М., Гуров С.В. Основы теории надёжности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.; БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.