

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Н. А. Евдокимова

**НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины
для студентов, обучающихся в бакалавриате
по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Калининград
2024

УДК 658.382.3

Рецензент

доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО «Калининградский
государственный технический университет» Минько В.М.

Евдокимова, Н. А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 20.03.01 Техносферная безопасность / **Н. А. Евдокимова.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2024. – 62 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по изучению дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность. В пособии представлены методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекций по каждой изучаемой теме, методические указания по подготовке и сдаче экзамена, методические указания по выполнению самостоятельной работы по дисциплине, а также список рекомендуемых источников.

Рис. 2, список лит. – 8 наименований

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 28 августа 2024 г., протокол № 6

УДК 658.382.3

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2024 г.
© Евдокимова Н.А., 2024 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. Тематический план по дисциплине и методические указания по её изучению.....	7
2. Методические указания по подготовке и сдаче экзамена.....	55
3. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы по дисциплине.....	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	60
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано для направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (для очной формы обучения) по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск», входящей в профессиональный модуль части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1. Дисциплины (модули).

Целью освоения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» является формирование знаний и навыков, направленных на умение прогнозировать, оценивать, устранять причины, смягчать последствия нештатного взаимодействия компонентов в системах типа человек-машина-среда, а также способного создавать современную технику.

В результате освоения дисциплины студент должен

знать:

- источники возникновения опасностей технических систем, основные принципы анализа надежности технических систем;
- методы идентификации опасностей технических систем и порядок оценки техногенных рисков;
- методы оценки уровня надежности технических систем;
- методы оценки и расчета параметров возможных пожаров и рисков.

уметь:

- применять методы оценки уровня надежности технических систем в целях ее повышения;
- выявлять, анализировать и оценивать техногенные риски, надежность технических систем;
- выполнять оценку пожарного риска.

владеть:

- методами математического моделирования надежности и безопасности работы отдельных звеньев реальных технических систем и технических объектов в целом;
- методами математического моделирования оценки рисков пожаров.

При изучении дисциплины используются компетенции, базовые знания, умения и навыки, полученные в процессе освоения следующих дисциплин образовательной программы бакалавриата: «Высшая математика», «Физика», «Химия», «Безопасность жизнедеятельности», «Теория и методы техносферной безопасности».

Студенты, приступающие к изучению данной дисциплины, для успешного ее освоения должны иметь представления о современных системах человек-машина-среда на всех стадиях жизненного цикла и идентификации опасностей.

Дисциплина «Надежность технических систем и техногенный риск» формирует компетенции, используемые студентами в дальнейшей профессиональной деятельности.

Текущий контроль осуществляется после рассмотрения на лекциях соответствующих тем в форме тестовых заданий по отдельным темам.

Оценивание осуществляется по следующим критериям:

«Отлично» - 90-100 % правильных ответов в тесте;

«Хорошо» - 70-90 % правильных ответов в тесте;

«Удовлетворительно» - 50-70 % правильных ответов в тесте;

«Неудовлетворительно» - менее 50 % правильных ответов в тесте.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена и расчетно-графической работы. К оценочным средствам для промежуточной аттестации в форме экзамена относятся экзаменационные вопросы и задачи.

К экзамену допускаются студенты, положительно аттестованные по результатам тестирования, прошедшие все предусмотренные учебным планом виды занятий.

Итоговая оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно») является экспертной и зависит от уровня освоения студентом тем дисциплины (наличия и сущности ошибок, допущенных студентом при ответе на экзаменационные вопросы).

- оценка «отлично» - ответ полный, правильный, понимание материала глубокое, основные умения сформированы и устойчивы; изложение логично, доказательно, выводы и обобщения точны и связаны с областью будущей специальности;

- оценка «хорошо» - ответ удовлетворяет вышеназванным требованиям, но изложение недостаточно систематизировано, отдельные умения недостаточно устойчивы, в определении понятий, в выводах и обобщениях имеются неточности, легко исправимые с помощью дополнительных вопросов преподавателя;

- оценка «удовлетворительно» - ответ обнаруживает понимание основных положений излагаемого материала, однако наблюдается значительная неполнота знаний; определение понятий нечёткое, умения сформированы недостаточно, выводы и обобщения аргументированы слабо, в них допускаются ошибки;

- оценка «неудовлетворительно» - ответ неправильный, показывает незнание основного материала, грубые ошибки в определении понятий, неумение работать с источниками. Ставится также при отказе студента отвечать по билету.

Учебно-методическое пособие состоит из:

введения, где указаны: шифр, наименование направления подготовки (специальности); дисциплина учебного плана, для изучения которой оно пред-

назначено; цель и планируемые результаты освоения дисциплины; место дисциплины в структуре ОПОП ВО; виды текущего контроля, последовательности его проведения, критерии и нормы оценки (отметки); форма проведения промежуточной аттестации; условия допуска к экзамену, критерии и нормы оценки (текущей и промежуточной аттестации);

основной части, которая содержит тематический план по дисциплине и методические указания по её изучению, методические указания по подготовке и сдаче экзамена, методические указания по выполнению самостоятельной работы по дисциплине;

заключения;

списка рекомендуемых источников.

1. Тематический план по дисциплине и методические указания по её изучению

Раздел 1. Математический аппарат анализа надежности и техногенного риска

Тема 1.1. Элементы математической логики

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Простейшие логические связки
- 2) Импликация и эквивалентность
- 3) Логические возможности

Методические указания по проведению занятия

Математическая логика – часть общей логики, в которой законы мышления выражаются формулами.

Высказыванием называется предложение, относительно которого имеет смысл утверждать, истинно оно или ложно.

Высказывания обозначаются заглавными латинскими буквами: А, В, С, Х, Y.

Высказывание является *простым*, если никакую его часть нельзя рассматривать как отдельное высказывание. Высказывания, образованные из простых высказываний с помощью логических связок «не», «и», «или», «если, то», «тогда и только тогда, когда» называются *составными*.

Составное высказывание, образованное с помощью логической связки *и*, называется *конъюнкция*. Конъюнкцией двух высказываний А и В называется высказывание $A \wedge B$ (читается «А и В»), которое считается истинным, если оба высказывания истинны и ложным, если хотя бы одно из них ложно.

Составное высказывание, образованное с помощью логической связки *или*, называется *дизъюнкция*. Дизъюнкцией двух высказываний А и В называется высказывание $A \vee B$ (читается «А или В»), которое считается истинным, если хотя бы одно из высказываний истинно, и ложным, если оба ложными.

Если высказывание А истинно, то высказывание \bar{A} – ложно, и наоборот. Отрицанием А называется высказывание \bar{A} (читается «не А»), которое считается истинным, если А ложно и ложным, если А истинно.

Импликацией двух высказываний А и В называется высказывание $A \rightarrow B$ (читается «если А, то В»), которое считается ложным, если А истинно и В ложно, и истинным при всех других значениях А и В. Здесь А – условие (посылка), В – заключение (следствие).

С импликацией тесно связана так называемая *двойная импликация* (или *эквивалентность*). Эквивалентность означает, что если А истинно, то В истинно, если А ложно, то В ложно. Таким образом, эквивалентностью двух высказываний А и В называется высказывание $A \sim B$ (читается «А эквивалентно

В» или «*A, если и только если B*»), которое считается истинным, если оба высказывания одновременно истинны, либо ложны, и ложным в остальных случаях.

Если высказывание истинно в каждом логически возможном случае, то его называют *логически истинным*. Высказывание, ложное в каждом логически возможном случае, называется *логически ложным* или *противоречивым*.

Более подробно с изложенным материалом, а также с таблицами истинности рассмотренных логических связок можно ознакомиться в [1, с. 5-11, 4].

Тестовые вопросы к занятию

1. Как называется логическая связка, с помощью которой из двух простых высказываний образуется сложное высказывание, которое считается истинным, если оба высказывания истинны и ложным, если хотя бы одно из них ложно?

- а) дизъюнкция;
- б) конъюнкция;
- в) отрицание;
- г) импликация;
- д) двойная импликация.

2. Как называется логическая связка, с помощью которой из двух простых высказываний образуется сложное высказывание, которое считается истинным, если хотя бы одно из высказываний истинно и ложным, если оба ложные?

- а) дизъюнкция;
- б) конъюнкция;
- в) отрицание;
- г) импликация;
- д) двойная импликация.

3. Как называется логическая связка, с помощью которой из высказывания A получается высказывание \bar{A} , которое считается истинным, если A ложно, и ложным, если A истинно?

- а) дизъюнкция;
- б) конъюнкция;
- в) отрицание;
- г) импликация;
- д) двойная импликация.

4. Как называется логическая связка, с помощью которой из двух простых высказываний образуется сложное высказывание, которое считается ложным, если первое высказывание истинно и второе ложно, и истинным во всех остальных случаях?

- а) дизъюнкция;
- б) конъюнкция;
- в) отрицание;

- г) импликация;
- д) двойная импликация.

5. Как называется логическая связка, с помощью которой из двух простых высказываний образуется сложное высказывание, которое считается истинным, если оба высказывания одновременно истинны, либо ложны, и ложным в остальных случаях?

- а) дизъюнкция;
- б) конъюнкция;
- в) отрицание;
- г) импликация;
- д) двойная импликация.

Рекомендуемая литература по теме 1.1: [1, 4].

Тема 1.2. Элементы теории множеств

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Понятие множества
- 2) Операции над множествами

Методические указания по проведению занятия

Множество – совокупность объектов, каждый из которых обладает некоторым свойством, которое можно положить в основу определения любого объекта множества.

Отдельные объекты множества называются **элементами множества**.

Множества обозначаются большими буквами $A, B, \dots X, Y, U$; элементы множества обозначаются малыми буквами $a, b, \dots x, y, \dots u$.

Имеется два способа задания множеств. Можно либо указать правило для определения того, принадлежит или не принадлежит рассматриваемому множеству объект, либо дать полный перечень элементов этого множества. Первый способ называется *описанием* множества, второй – *перечислением* множества.

Множество, состоящее из некоторых элементов другого множества, называется *подмножеством* этого последнего множества.

Суммой (объединением) $A_1 \cup A_2$ двух множеств A_1 и A_2 называется множество, которое содержит все элементы, принадлежащие хотя бы одному из множеств A_1 и A_2 , т.е. $x \in (A_1 \cup A_2)$ означает, что $x \in A_1$ или $x \in A_2$, или тому и другому.

Произведением (пересечением) $A_1 \cap A_2$ двух множеств A_1 и A_2 называется множество, которое содержит все элементы входящие и в A_1 и в A_2 , т.е. $x \in (A_1 \cap A_2)$ означает, что $x \in A_1$ и $x \in A_2$.

Разностью $A_2 - A_1$ множеств A_2 и A_1 называется совокупность тех элементов A_2 , которые не содержатся в A_1 ; так $x \in (A_2 - A_1)$ означает, что $x \in A_2$ и $x \notin A_1$.

Если A является подмножеством некоторого множества E , то **дополнением множества A в E** называют множество элементов E , не принадлежащих множеству A , т.е. дополнение есть разность $E - A$ ($E \setminus A$). Обозначается $\bar{A} = E - A$ ($\bar{A} = E \setminus A$).

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 12-15, 5].

Тестовые вопросы к занятию

1. Укажите термин, соответствующий определению: «совокупность объектов, каждый из которых обладает некоторым свойством, которое можно положить в основу определения любого объекта множества».

- а) подмножество;
- б) множество;
- в) элемент множества;
- г) описание множества;
- д) перечисление множества.

2. Сколько существует способов задания множеств?

- а) три;
- б) пять;
- в) два;
- г) четыре;
- д) один.

3. Укажите термин, соответствующий определению: «множество, состоящее из некоторых элементов другого множества».

- а) подмножество;
- б) множество;
- в) элемент множества;
- г) описание множества;
- д) перечисление множества.

4. Какие операции можно производить над множествами?

- а) объединение, пересечение;
- б) пересечение, разность;
- в) разность, дополнение;
- г) объединение, пересечение, разность, дополнение;
- д) объединение, пересечение, разность.

Рекомендуемая литература по теме 1.2: [1, 5].

Тема 1.3. Элементы теории графов

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Основные определения и понятия
- 2) Степени и полустепени вершин графа
- 3) Маршруты графа
- 4) Части графа
- 5) Операции над графами

Методические указания по проведению занятия

Графом G называют пару (X, E) , где $X = X(G)$ непустое конечное множество элементов, называемых *вершинами*, $E = E(G)$ – конечное множество неупорядоченных и упорядоченных пар различных элементов из X , называемых соответственно *ребрами* и *дугами*.

Если $e_k = (x_i, x_j)$ – ребро ($(x_i, x_j) = (x_j, x_i)$), то говорят, что ребро e_k соединяет вершины x_i и x_j , и условно обозначают диаграммой (рис. 1а), в которой вершина изображается точкой или кружком, а ребро – отрезком линии, соединяющей точки или кружки, соответствующие вершинам ребер. Если $e_k = (x_i, x_j)$ – дуга ($(x_i, x_j) \neq (x_j, x_i)$), то говорят, что дуга e_k начинается в вершине x_i и заканчивается x_j , и условно изображают дугу e_k ориентированным отрезком (рис. 1б), направленным от начальной вершины x_i к конечной x_j .



Рисунок 1. К понятию дуги и ребра

Вершины, соединенные ребром или дугой, называют *смежными*. Ребра или дуги, имеющие общую вершину, также называют *смежными*. Ребро (дугу) и любую из его (e) двух вершин называют *инцидентными*.

Степенью $d(x_i)$ вершины x_i называют число ребер, инцидентных x_i .

Полустепенью захода $d_-(x_i)$ вершины x_i называют число заходящих в x_i дуг.

Полустепенью исхода $d_+(x_i)$ вершина x_i называют число исходящих из x_i дуг.

Ориентированным (неориентированным) маршрутом μ графа называют последовательность дуг (ребер), в которой конечная вершина всякой дуги (ребра), отличной от последней, является начальной вершиной для следующей дуги (ребра).

Подграфом $G' = (X', E')$ графа $G = (X, E)$ называют граф с множеством вершин $X' \subseteq X$ и множеством ребер (дуг) $E' \subseteq E$, каждое из которых инцидентно только вершинам из X' .

С помощью различных операций над графами – *унарных* (т.е. над одним графом) или *бинарных* (т.е. над парой графов) можно строить графы из более простых, переходить от одного графа к более простому, разбивать графы на более простые и т.д.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 16-22, 4].

Тестовые вопросы к занятию

1. Укажите термин, соответствующий определению: «пара (X, E) , где $X = X(G)$ непустое конечное множество элементов, называемых вершинами, $E = E(G)$ – конечное множество неупорядоченных и упорядоченных пар различных элементов из X , называемых соответственно ребрами и дугами».

- а) граф;
- б) множество;
- в) подмножество;
- г) подграф;
- д) подграф, порожденный множеством вершин.

2. Как называется неориентированный отрезок линии, соединяющий вершины графа?

- а) ребро;
- б) дуга;
- в) путь;
- г) вектор;
- д) маршрут.

3. Как называется ориентированный отрезок линии, соединяющий вершины графа?

- а) ребро;
- б) дуга;
- в) путь;
- г) вектор;
- д) маршрут.

4. Укажите термин, соответствующий определению: «число заходящих в вершину графа дуг».

- а) степень;
- б) полустепень захода;
- в) полустепень исхода;
- г) полустепень входа;
- д) полустепень выхода.

5. Укажите термин, соответствующий определению: «последовательность дуг (ребер), в которой конечная вершина всякой дуги (ребра), отличной от последней, является начальной вершиной для следующей дуги (ребра)».

а) маршрут графа;

б) граф;

в) множество;

г) подмножество;

д) подграф.

6. Какие операции можно совершать над графами?

а) унарные;

б) бинарные;

в) объединение;

г) пересечение;

д) унарные и бинарные.

Рекомендуемая литература по теме 1.3: [1, 4].

Тема 1.4. Элементы теории вероятностей

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

1) Основные понятия теории вероятностей

2) Теорема сложения вероятностей

3) Теорема умножения вероятностей

4) Следствие теоремы сложения и умножения. Формула полной вероятности

Методические указания по проведению занятия

Наблюдаемые нами события (явления) можно подразделить на следующие три вида: достоверные, невозможные и случайные. **Достоверным** называют событие, которое обязательно произойдет, если будет осуществлена определенная совокупность условий. **Невозможным** называют событие, которое заведомо не произойдет, если будет осуществлена совокупность условий. **Случайным** называют событие, которое при осуществлении совокупности условий может либо произойти, либо не произойти.

Вероятностью события А называют отношение числа благоприятствующих этому событию исходов к общему числу всех равновозможных несовместных элементарных исходов, образующих полную группу.

Относительная частота наряду с вероятностью является основным понятием теории вероятностей. **Относительной частотой события** называют отношение числа испытаний, в которых событие появилось, к общему числу фактически произведенных испытаний.

Теорема. Вероятность появления одного из двух несовместных событий, безразлично какого, равна сумме вероятностей этих событий:

$$P(A+B) = P(A) + P(B) \quad (1)$$

Теорема. Вероятность совместного проявления двух событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную в предположении, что первое событие уже наступило:

$$P(AB) = P(A) \cdot P_A(B) \quad (2)$$

Теорема. Вероятность появления хотя бы одного из двух совместных событий равна сумме вероятностей этих событий без вероятности их совместного проявления

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB) \quad (3)$$

Теорема. Вероятность события A , которое может наступить лишь при условии появления одного из несовместных событий B_1, B_2, \dots, B_n , образующих полную группу, равна сумме произведений вероятностей каждого из этих событий на соответствующую условную вероятность события A :

$$P(A) = P(B_1) \cdot P_{B_1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B_2}(A) + \dots + P(B_n) \cdot P_{B_n}(A) \quad (4)$$

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 22-33, 6].

Тестовые вопросы к занятию

1. Укажите термин, соответствующий определению: «событие, которое обязательно произойдет, если будет осуществлена определенная совокупность условий».

- а) невозможное;
- б) достоверное;
- в) случайное;
- г) равновозможные;
- д) совместные.

2. Укажите термин, соответствующий определению: «событие, которое заведомо не произойдет, если будет осуществлена совокупность условий».

- а) невозможное;
- б) достоверное;
- в) случайное;
- г) равновозможные;
- д) совместные.

3. Укажите термин, соответствующий определению: «событие, которое при осуществлении совокупности условий может либо произойти, либо не произойти».

- а) невозможное;
- б) достоверное;
- в) случайное;

г) равновозможные;

д) совместные.

4. Как звучит теорема сложения вероятностей?

а) вероятность появления одного из двух несовместных событий, безразлично какого, равна сумме вероятностей этих событий;

б) сумма вероятностей противоположных событий равна единице;

в) вероятность совместного проявления двух событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную в предположении, что первое событие уже наступило;

г) вероятность совместного проявления двух независимых событий равна произведению вероятностей этих событий;

д) вероятность появления одного из двух совместных событий равна сумме вероятностей этих событий без вероятности их совместного проявления.

5. Как звучит теорема умножения вероятностей?

а) вероятность совместного проявления двух событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную в предположении, что первое событие уже наступило;

б) сумма вероятностей противоположных событий равна единице;

в) вероятность появления одного из двух несовместных событий, безразлично какого, равна сумме вероятностей этих событий;

г) вероятность появления одного из двух совместных событий равна сумме вероятностей этих событий без вероятности их совместного проявления;

д) вероятность совместного проявления двух независимых событий равна произведению вероятностей этих событий.

6. Как звучит теорема о формуле полной вероятности?

а) вероятность появления одного из двух несовместных событий, безразлично какого, равна сумме вероятностей этих событий;

б) сумма вероятностей противоположных событий равна единице;

в) вероятность совместного проявления двух событий равна произведению вероятности одного из них на условную вероятность другого, вычисленную в предположении, что первое событие уже наступило;

г) вероятность появления одного из двух совместных событий равна сумме вероятностей этих событий без вероятности их совместного проявления;

д) вероятность события A , которое может наступить лишь при условии появления одного из несовместных событий B_1, B_2, \dots, B_n , образующих полную группу, равна сумме произведений вероятностей каждого из этих событий на соответствующую условную вероятность события A .

Рекомендуемая литература по теме 1.4: [1, 6].

Тема 1.5. Случайные величины

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Виды случайных величин. Их характеристики
- 2) Нормальное распределение
- 3) Показательное распределение
- 4) Функция надежности

Методические указания по проведению занятия

Случайной называют величину, которая в результате испытания примет одно и только одно возможное значение, наперед не известное и зависящее от случайных причин, которые заранее не могут быть учтены.

Дискретной (прерывной) называют случайную величину, которая принимает отдельные, изолированные возможные значения с определенными вероятностями.

Непрерывной называют случайную величину, которая может принять все значения из некоторого конечного или бесконечного промежутка.

Законом распределения дискретной случайной величины называют соответствие между возможными значениями и их вероятностями.

Для описания случайной величины прибегают к **числовым характеристикам случайной величины**.

Математическим ожиданием дискретной случайной величины называют сумму произведений всех её возможных значений x_i на их вероятности p_i

$$M(X) = \sum_{i=1}^{\infty} x_i \cdot p_i \quad (5)$$

Отклонением называют разность между случайной величиной и её математическим ожиданием: $X - M(X)$.

Дисперсией дискретной случайной величины называют математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от её математического ожидания:

$$D(X) = M [X - M(X)]^2 \quad (6)$$

Средним квадратическим отклонением случайной величины X называют квадратный корень из дисперсии:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)} \quad (7)$$

Функцией распределения называют функцию $F(X)$, определяющую вероятность того, что случайная величина X в результате испытания примет значение меньше x , т.е.

$$F(X) = P(X < x) \quad (8)$$

Плотностью распределения вероятностей непрерывной случайной величины X называют функцию $f(x)$ – первую производную от функции распределения $F(x)$:

$$F(x) = F'(x) \quad (9)$$

Математическим ожиданием непрерывной случайной величины X, возможные значения которой принадлежат отрезку $[a, b]$, называют определенный интеграл:

$$M(X) = \int_a^b x f(x) dx \quad (10)$$

Дисперсией непрерывной случайной величины называют математическое ожидание квадрата её отклонения. Если возможные значения X принадлежат отрезку $[a, b]$, то

$$D(X) = \int_a^b [x - M(X)]^2 f(x) dx \quad (11)$$

Среднее квадратическое отклонение непрерывной случайной величины определяется:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)} \quad (12)$$

Функцией надежности R(t) называют функцию, определяющую вероятность безотказной работы элемента за время длительности t:

$$R(t) = P(T > t), \quad (13)$$

Где T - длительность безотказной работы элемента,

T - длительностью времени до отказ элемента.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 33-41, 6].

Тестовые вопросы к занятию

1. Назовите виды случайных величин.

- а) дискретные;
- б) непрерывные;
- в) дискретные и непрерывные;
- г) точные;
- д) приближенные.

2. Как называется функция, определяющую вероятность того, что случайная величина X в результате испытания примет значение меньше x?

- а) плотность распределения;
- б) функция распределения;
- в) функция нарастания;
- г) функция убывания;
- д) функция надежности.

3. Как называется функция - первая производная от функции распределения?

- а) плотность распределения;
- б) плотность нарастания;

- в) функция нарастания;
- г) функция убывания;
- д) функция надежности.

4. Как называется числовая характеристика случайной величины, которая равна среднему арифметическому наблюдаемых значений случайной величины?

- а) дисперсия;
- б) математическое ожидание;
- в) среднее квадратическое отклонение;
- г) коэффициент вариации;
- д) плотность распределения вероятностей.

5. Как называется числовая характеристика случайной величины, которая равна математическому ожиданию квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания?

- а) плотность распределения вероятностей;
- б) среднее квадратическое отклонение;
- в) коэффициент вариации;
- г) математическое ожидание;
- д) дисперсия.

6. Как называется функция, определяющую вероятность безотказной работы элемента за время длительности t ?

- а) плотность распределения;
- б) плотность нарастания;
- в) функция нарастания;
- г) функция убывания;
- д) функция надежности.

Рекомендуемая литература по теме 1.5: [1, 6].

Раздел 2. Системный подход к анализу надежности и техногенного риска

Тема 2.1. Элементы системы и системного анализа

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Модель «черного ящика»
- 2) Модель состава системы и структуры системы
- 3) Структурная схема системы
- 4) Большая и сложная системы

Методические указания по проведению занятия

Система – это средство достижения цели. (Это первое определение системы).

Самая простая модель получила название *черного ящика*. Это название подчеркивает полное отсутствие сведений о внутреннем содержании «ящика»: в модели задаются только входные и выходные связи системы со средой. Строя модель системы, из этого бесчисленного множества связей следует выбирать конечное их число для включения в список входов и выходов. Критерием отбора является целевое назначение модели, существенность той или иной связи по отношению в этой цели.

Те части системы, которые мы рассматриваем как неделимые и обладающие рядом важных свойств, будем называть *элементами системы*. Части системы, состоящие более чем из одного элемента, назовем *подсистемами*. Таким образом, можно получить *модель состава системы*, описывающую, из каких подсистем и элементов она состоит.

Связь (отношение) – важный для целей рассмотрения обмен между элементами веществом, энергией, информацией. Совокупность необходимых и достаточных для достижения цели отношений между элементами называется *структурой системы*.

Таким образом, объединяя все изложенное, можно дать следующее определение системы. **Система** есть совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое.

Полученные нами модели «черного ящика», состава и структуры образуют ещё одну модель, которую будем называть *структурной схемой системы*. В структурной схеме указываются все элементы системы, все связи между элементами внутри системы и связи определенных элементов с окружающей средой (входы и выходы системы).

Структурная схема системы может быть охарактеризована по имеющимся в ней (или преобладающим) типам связей. Простейшими из них являются последовательное, параллельное соединение элементов и обратная связь. Обратная связь означает, что результат функционирования элемента влияет на поступающие на него воздействия. Как правило, обратная связь выступает важным регулятором в системе.

Существует классификация систем на большие и сложные.

Большой системой назовем систему, включающую значительное число однотипных элементов и однотипных связей.

Сложной системой назовем систему, состоящую из элементов разных типов и обладающую разнородными связями между ними.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 41-51, 7].

Тестовые вопросы к занятию

1. В модели системы заданы только входные и выходные связи с внешней средой. Как называется данная модель?

- а) модель состава системы;
- б) модель «черного ящика»;
- в) структура системы;
- г) структурная схема;
- д) динамическая модель.

2. В модели системы заданы подсистемы и элементы, из которых состоит система. Как называется данная модель?

- а) структурная схема;
- б) динамическая модель;
- в) структура системы;
- г) модель состава системы;
- д) модель «черного ящика».

3. В модели системы заданы необходимые и достаточные для достижения цели отношения (связи) между элементами. Как называется данная модель?

- а) модель состава системы;
- б) динамическая модель;
- в) структура системы;
- г) структурная схема;
- д) модель «черного ящика».

4. В модели системы заданы все элементы системы, все связи между элементами и связи определенных элементов с окружающей средой. Как называется данная модель?

- а) структура системы;
- б) динамическая модель;
- в) модель «черного ящика»;
- г) структурная схема;
- д) модель состава системы.

5. Укажите термин, соответствующий определению: «важный для целей рассмотрения обмен между элементами веществом, энергией, информацией».

- а) элемент;
- б) связь;
- в) система;
- г) событие;
- д) вход.

Рекомендуемая литература по теме 2.1: [1, 7].

Тема 2.2. Система человек – машина – среда

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Особенности и структура системы человек – машина – среда
- 2) Классификация систем человек – машина – среда
- 3) Понятия и аппарат анализа опасностей

Методические указания по проведению занятия

Система человек – машина – среда (ЧМС) представляет собой организацию, составными частями которой являются люди и машины, работающие вместе для достижения общей цели и связанные друг с другом сетью коммуникаций.

Любая система ЧМС предназначена для реализации одной или нескольких функций по преобразованию управляемого объекта (УО), на который направлено воздействие всей системы. Все то, что находится в системе ЧМС между человеком и управляемым объектом, называется условно машиной. Машина есть орудие труда человека-оператора. Сам он является субъектом труда.

Подробная структурная схема системы ЧМС представлена на рисунке 2.

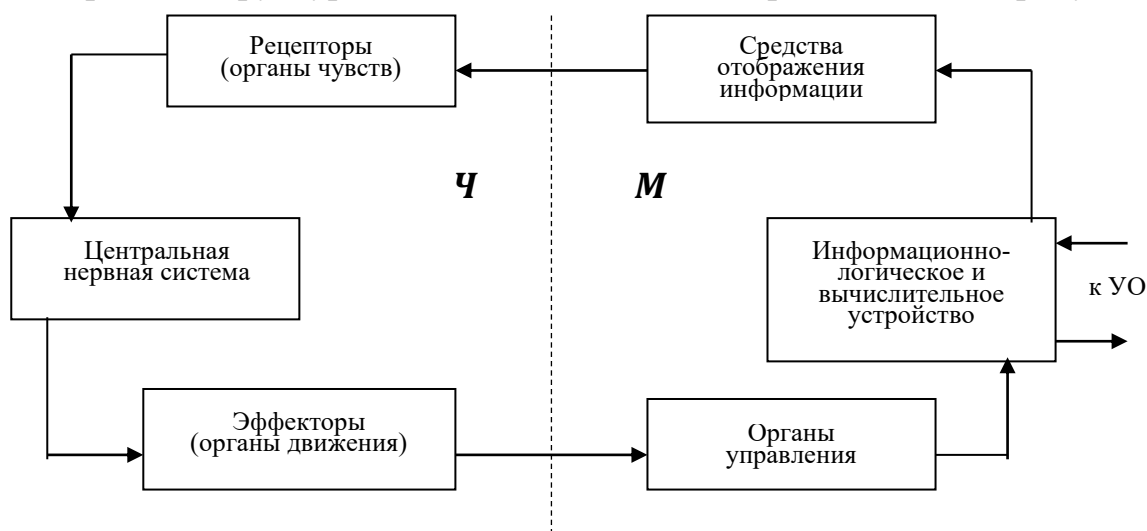


Рисунок 2. Структурная схема системы ЧМС

Любые изменения в состоянии управляемого объекта (УО) поступают в информационно-логическое и вычислительное устройство, которое обеспечивает заданную степень автоматизации процесса. После соответствующей обработки информации состояние УО отображается на средствах отображения информации (индикаторах). Это состояние воспринимается с помощью рецепторов (органов чувств) человека. На основе этого восприятия в центральной нервной системе формируется внутренний оперативный образ УО, или иными словами – концептуальная модель. Эта модель сравнивается с некоторым эталоном, хранимым в памяти оператора и отражающим требуемое состояние УО. В результате сравнения оператор принимает решение по управлению УО. Это решение передается эффекторам (органам движения или речи) и с их помощью

осуществляется воздействие на органы управления машины, т.е. происходит ввод командной информации в машину. Информация перерабатывается в информационно-логическом и вычислительном устройстве, которое и осуществляет необходимое преобразование УО. Таким образом, деятельность оператора в общем случае состоит из трех этапов: приема информации о состоянии УО, переработки этой информации и принятии решения по управлению.

Классификация систем ЧМС производится по нескольким признакам:

- а) по целевому назначению;
- б) по характеристике человеческого звена;
- в) по типу и структуре машинного компонента;
- г) в зависимости от характера проникания процесса управления;
- д) по характеру переработки информации.

Объектом анализа опасностей является система «человек – машина – среда», в которой в единый комплекс, предназначенный для выполнения определенных функций, объединены технические объекты, люди и окружающая среда, взаимодействующие друг с другом. Аппарат анализа опасностей строится на следующих определениях.

Чепе – нежелательное, незапланированное, непреднамеренное событие в системе ЧМС, нарушающее общий ход вещей и происходящее в относительно короткий отрезок времени.

Несчастный случай – чепе, заключающееся в повреждении организма человека.

Отказ – чепе, заключающееся в нарушении работоспособности компонента системы.

Инцидент – вид отказа, связанный с неправильными действиями или поведением человека.

Источник опасности – явление, откуда может проистекать опасность. Явление включает все, что может предстать перед нашим взором или в мыслях.

Анализ опасностей в первую очередь имеет дело с потенциальными *повреждающими факторами* и потенциальными чепе. Потенциальный повреждающий фактор до некоторой поры может быть скрытым, неясным. Однако, анализируя цепь потенциальных событий, можно выделить такое событие, которое позволяет его более четко разглядеть. Можно считать, что это событие – чепе представляет корень опасности.

С целью унификации различные последствия и вред обозначают термином *ущерб*. Ущерб измеряют денежным эквивалентом, числом летальных исходов, количеством травмированных людей и т.д. Как это ни кощунственно, но между этими единицами измерения желательнее найти эквивалент, чтобы измерять ущерб в стоимостном выражении.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 51-58].

Тестовые вопросы к занятию

1. С помощью чего человек воспринимает информацию о состоянии управляемого объекта?

- а) эффекторов;
- б) центральной нервной системы;
- в) рецепторов;
- г) органов управления;
- д) средств отображения информации.

2. По какому признаку системы ЧМС делятся на управляющие, обслуживающие, обучающие, информационные, исследовательские?

- а) по характеристике человеческого звена;
- б) по целевому назначению;
- в) по типу и структуре машинного компонента;
- г) в зависимости от характера протекания процесса управления;
- д) по характеру переработки информации.

3. По какому признаку системы ЧМС делятся на детерминированные, недетерминированные, игровые системы?

- а) по характеристике человеческого звена;
- б) по целевому назначению;
- в) по типу и структуре машинного компонента;
- г) в зависимости от характера протекания процесса управления;
- д) по характеру переработки информации.

4. По какому признаку системы ЧМС делятся на полисистемы и моносистемы?

- а) по характеристике человеческого звена;
- б) по целевому назначению;
- в) по типу и структуре машинного компонента;
- г) в зависимости от характера протекания процесса управления;
- д) по характеру переработки информации.

5. Укажите термин, соответствующий определению: «Нежелательное, незапланированное, непреднамеренное событие в системе «человек-машина-среда» нарушающее общий ход вещей и происходящее в относительно короткий отрезок времени».

- а) инцидент;
- б) отказ;
- в) чепе;
- г) авария;
- д) н-чепе.

Рекомендуемая литература по теме 2.2: [1].

Раздел 3. Основы теории надежности машин и технических систем

Тема 3.1. Основные понятия надежности, показатели и номенклатура показателей надежности

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Основные термины и определения надежности
- 2) Установление номенклатуры и выбор показателей надежности
- 3) Определение показателей надежности
- 4) Нормативные показатели надежности и их определение

Методические указания по проведению занятия

Надежность (как один из показателей качества продукции) характеризует свойство механизмов выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах во всех возможных режимах и условиях использования, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность включает в себя:

- безотказность;
- долговечность;
- ремонтпригодность;
- сохраняемость.

Безотказность (или надежность в узком смысле слова) – свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени или наработки. Это свойство особенно важно для машин, отказ в работе которых связан с опасностью для жизни людей.

Долговечность – свойство изделий сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтпригодность – свойство изделий приспособляться к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путем технического обслуживания и ремонтов. В некоторых сложных системах поиск причин отказа может занимать более 50 % общего времени восстановления работоспособности. Поэтому облегчение поиска отказавших элементов закладывается в конструкцию новых систем.

Сохраняемость – свойство изделия сохранять работоспособное состояние в течение и после хранения и транспортирования.

Показатели безотказности:

1) **Вероятность безотказной работы** – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет.

2) **Вероятность отказа** – вероятность того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки произойдет отказ.

3) **Частота отказов** (плотность распределения наработки до отказа) – есть вероятность отказа объектов в единицу времени и определяется как производная от функции вероятности отказов по времени.

4) **Интенсивность отказов** – вероятность отказа в единицу времени при условии, что отказ до рассматриваемого момента времени не наступил.

5) **Средняя наработка до первого отказа** – математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Безотказность восстанавливаемых изделий характеризуется двумя показателями:

1) **Параметр потока отказов** – отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку (Δt) к значению этой наработки (Δt).

2) **Нарботка на отказ T_0** – наработка, приходящаяся в среднем на один отказ восстанавливаемого изделия.

Показатели долговечности:

1) **Технический ресурс (ресурс)** – время работы объекта от начала эксплуатации или после ремонта до предельного состояния.

2) **Срок службы** – календарная продолжительность эксплуатации нового изделия (или после ремонта) до предельного состояния (обычно выражается в годах).

Показатели ремонтпригодности:

1) **Вероятность восстановления в заданное время** – вероятность того, что время восстановления работоспособности изделия не превысит заданного.

2) **Средняя продолжительность восстановления** – математическое ожидание времени восстановления работоспособности.

Показатели сохраняемости:

1) **Средний срок сохраняемости** – математическое ожидание срока сохраняемости.

2) **Гамма-процентный срок сохраняемости** - срок сохраняемости, который будет достигнут изделием с заданной вероятностью (в процентах).

Комплексные показатели надежности:

1) **Коэффициент готовности** – вероятность того, что изделие окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме периодов, в течение которых его использование по назначению не предусматривается.

2) **Коэффициент технического использования** – отношение математического ожидания времени работоспособного состояния за некоторый период

эксплуатации к сумме математических ожиданий времени работоспособного состояния и всех простоев для ремонтов и технического обслуживания.

Более подробно с этими и другими состояниями и событиями, характеризующими надежность, можно ознакомиться в [1, с. 58-66].

Номенклатура таких показателей должна устанавливаться с учетом:

- назначения изделия;
- ремонтируемости или неремонтируемости изделия;
- характера и последовательности ремонтов и техобслуживания;
- влияния надежности изделия на безопасность обслуживающего персонала и т.д.

Выбор номенклатуры показателей надежности осуществляют на основе классификации изделий по признакам, характеризующим их назначение, последствия отказов и достижения предельного состояния, особенности режимов применения и др. (ГОСТ 27.003-90 «Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований надежности»).

Основными признаками, по которым подразделяются изделия при задании требований по надежности, являются:

1. Определенность назначения изделия.
2. Число возможных (учитываемых) состояний изделия по работоспособности в процессе эксплуатации.
3. Режим применения (функционирования).
4. Возможные последствия отказов и (или) достижения предельного состояния при применении и (или) последствия отказов при хранении и транспортировании.
5. Возможность восстановления работоспособного состояния после отказа.
6. Характер основных процессов, определяющих переход изделия в предельное состояние.
7. Возможность и необходимость технического обслуживания.
8. Возможность и необходимость контроля перед применением.

В ГОСТ 27.003-90 приведены схемы выбора показателей.

Более подробно основные признаки, по которым подразделяются изделия при задании требований по надежности, раскрыты в [1, с. 66-68].

Статистическая оценка вероятности безотказной работы $P(t)$ может быть определена по формуле:

$$P(t) = \frac{n_0 - n(t)}{n_0}, \quad (14)$$

где n_0 – число подконтрольных изделий, т.е. общее число изделий, за которыми ведется наблюдение;

$n(t)$ – число изделий, у которых в интервале времени $(0, t)$ произошел отказ.

Иногда на практике более удобной характеристикой является вероятность отказа:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \frac{n_0 - n(t)}{n_0} = \frac{n(t)}{n_0} \quad (15)$$

Статистическая оценка плотности распределения наработки до отказа:

$$f(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{n_0 \Delta t} = \frac{n(\Delta t)}{n_0 \Delta t} \quad \text{или} \quad f(t) = \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t}, \quad (16)$$

где $n(t)$ и $n(t + \Delta t)$ – количество изделий, отказавших в интервале времени $(0, t)$ и $(0, t + \Delta t)$;

$n(\Delta t)$ – число отказавших изделий в интервале времени Δt ;

$\Delta Q(t)$ – приращение вероятности отказов за время Δt .

Статистическая оценка интенсивности отказов $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{(n_0 \cdot n(t)) \cdot \Delta t} \quad \text{или} \quad \lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{n_{cp} \cdot \Delta t} \quad (17)$$

где n_{cp} – среднее число исправно работающих объектов в интервале времени Δt .

Средняя наработка до отказа T_{cp} – среднее значение наработки изделий (в совокупности) до отказа:

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (18)$$

T_i – наработка i -го изделия до отказа;

n – количество изделий.

Статистическая оценка параметра потока отказов:

$$W(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N \cdot \Delta t} = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (19)$$

где N – число испытываемых изделий в интервале времени Δt .

Скорость изнашивания деталей:

$$U_i = \frac{|S_k - S_n|}{t_i}, \quad (20)$$

где S_k и S_n – конечный и начальный размеры детали по поясам максимальных износов;

t_i – наработка между замерами.

Технический ресурс детали при неизменности условий эксплуатации машины или механизма:

$$T_i = A / U_i \quad (21)$$

где A – предельно-допустимый износ детали.

Средний ресурс может быть подсчитан на основании определенной выборки деталей

$$T_{cp} = \frac{1}{N_o} \sum_{i=1}^{N_o} T_i, \quad (22)$$

N_o – объем выборки деталей.

Коэффициент готовности может определяться:

$$K_r = \frac{t_p}{t_p + t_b}, \quad (23)$$

где $t_p = \sum t_{pi}$ – суммарная наработка всех подконтрольных объектов;

$t_b = \sum t_{bi}$ – суммарное время простоя (по причине восстановления) всех объектов.

Коэффициент технического использования определяется:

$$K_{ти} = \left(\frac{t_p}{t_p + \sum (t_{TO_i} + t_{TP_i})} \right), \quad (24)$$

где t_{TO_i} , t_{TP_i} – время пребывания i -го объекта в плановых и внеплановых технических обслуживаниях и технических ремонтах.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 68-73].

В соответствии с ГОСТ 27.003-90 нормы показателей надежности выбирают с учетом:

- достигнутого уровня и выявленных тенденций повышения надежности отечественных и зарубежных аналогов;
- результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- технико-экономических возможностей промышленности.

Нормы показателей надежности должны быть оптимальными с учетом установленных ограничений массы, объема и (или) стоимости изделия. Критериями оптимизации должны быть достижение заданной эффективности при минимальных суммарных затратах на разработку, изготовление, эксплуатацию и ремонт изделия.

Для обоснования нормативных значений показателей надежности используют расчетные, экспериментальные и расчетно-экспериментальные методы.

Расчетные методы используют для изделий, по которым отсутствуют статистические данные, полученные в ходе испытаний аналогов (прототипов).

Экспериментальные методы применяют для изделий, по которым возможно получение статистических данных в процессе испытаний или имеющих аналоги (прототипы), позволяющие оценить их показатели надежности.

Расчетно-экспериментальные методы представляют комбинацию расчетных и экспериментальных методов. Их применяют в тех случаях, когда по отдельным составным частям имеются статистические данные о надежности, а по другим – результаты расчетов, или когда предварительные результаты испытаний изделий, полученные в ходе разработки, позволяют уточнить расчетные значения показателей надежности.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 73-74, 8].

Тестовые вопросы к занятию

1. Укажите термин, соответствующий определению: «Свойство изделий сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов»

- а) ремонтпригодность;
- б) сохраняемость;
- в) безотказность;
- г) надежность;
- д) долговечность.

2. Укажите термин, соответствующий определению: «Свойство механизмов выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах во всех возможных режимах и условиях использования, ремонтов, хранения и транспортирования»

- а) ремонтпригодность;
- б) сохраняемость;
- в) безотказность;
- г) надежность;
- д) долговечность.

3. Укажите термин, соответствующий определению: «Свойство изделий непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени или наработки»

- а) ремонтпригодность;
- б) сохраняемость;
- в) безотказность;
- г) надежность;
- д) долговечность.

4. Укажите термин, соответствующий определению: «Свойство изделий сохранять работоспособность в течение и после хранения и транспортирования»

- а) ремонтпригодность;
- б) сохраняемость;
- в) безотказность;

- г) надежность;
- д) долговечность.

5. Укажите термин, соответствующий определению: «Свойство изделий приспособляемость к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путем технического обслуживания и ремонтов»

- а) ремонтпригодность;
- б) сохраняемость;
- в) безотказность;
- г) надежность;
- д) долговечность.

6. Какие из перечисленных показателей относятся к комплексным, характеризующим одновременно два различных свойства объекта: безотказность (или долговечность) и ремонтпригодность?

- а) вероятность безотказной работы и вероятность отказа;
- б) коэффициент готовности и коэффициент технического использования;
- в) частота отказов и интенсивность отказов;
- г) средний срок сохраняемости и гамма-процентный срок сохраняемости;
- д) вероятность восстановления в заданное время и средняя продолжительность восстановления.

Рекомендуемая литература по теме 3.1: [1,8].

Тема 3.2. Виды и причины отказов

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Классификация отказов
- 2) Схемы отказов
- 3) Признаки отказов

Методические указания по проведению занятия

В соответствии с причинами возникновения отказы изделий классифицируются:

1. Конструкционные отказы. Возникают в результате нарушения установленных правил и (или) норм конструирования.

2. Производственные отказы. Появляются вследствие нарушения установленного процесса изготовления или ремонта.

3. Эксплуатационные отказы. Для машин и механизмов устанавливаются определенные ограничения на условия их эксплуатации (ограничения на температуру, уровень перегрузок и т.п.), задаются правила ухода за механизмом и его составляющими элементами. Нарушение правил эксплуатации приводит к преждевременному выходу из строя механизма. Однако отказы по этой причине следует исключать из рассмотрения при анализе надежности механизмов,

т.к. они не характеризуют свойства надежности, заложенные в эти механизмы при их создании, а являются следствием ошибок обслуживающего персонала.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» отказы делятся на **внезапные** и **постепенные**.

При возникновении отказа объект может или полностью терять работоспособность (**полный** отказ), или может частично использоваться по назначению (**частичный** отказ), т.е. использоваться с неполной мощностью или на пониженной скорости.

Если отказы постоянно повторяются на одном или нескольких объектах, их рассматривают как **систематические**. Их причиной могут быть конструктивные или технологические недоработки, эксплуатационные нарушения и т.д. Единичными можно назвать **неповторяющиеся** отказы.

Отказы подразделяются также на **зависимые** и **независимые**. Независимый отказ не обусловлен отказами других деталей, а зависимый – обусловлен.

В зависимости от конструктивных особенностей объекта отказы **могут устраняться** (восстанавливаемые объекты) или **не могут устраняться** по экономическим или техническим причинам (невосстанавливаемые объекты).

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 74-77].

Наиболее изученными являются следующие схемы отказов.

1. Схемы мгновенных повреждений (внезапные отказы).
2. Схема накапливающихся изменений (постепенные отказы).
3. Схема релаксации. Эта схема имеет место в тех случаях, когда износ и (или) старение могут явиться косвенной причиной отказа.
4. Схема действия нескольких независимых причин. Перечисленные выше схемы отказа на практике часто реализуются в сочетании друг с другом.

Подробнее схемы возникновения отказов рассмотрены в [1, с. 77-79].

Поскольку каждый механизм имеет свое назначение, то каждому из них присущи свои, конкретные формулировки отказов. Изменение работоспособности определяется косвенными и специфическими признаками. Косвенные признаки отказов позволяют судить об отказе (его наличии) по внешнему проявлению, характерному для элементов определенной конструктивной группы изделий: механической, электрической и гидравлической.

Специфические признаки отказов определяются конструктивными и функциональными особенностями объектов. Они называются критериями отказов и должны указываться в нормативной документации на этот объект.

Ознакомиться с изложенным материалом можно в [1, с. 79, 8].

Тестовые вопросы к занятию

1. В соответствии с причинами возникновения отказы изделий классифицируют на:

- а) зависимый, независимый;
- б) полный, частичный;
- в) внезапный, постепенный;
- г) конструкционный, производственный, эксплуатационный;
- д) устранимый, неустранимый.

2. По наличию внешних проявлений отказа, отказы классифицируют на

- а) зависимый, независимый;
- б) полный, частичный;
- в) внезапный, постепенный;
- г) конструкционный, производственный, эксплуатационный;
- д) устранимый, неустранимый.

3. По наличию возможности устранения отказа, отказы классифицируют

на:

- а) зависимый, независимый;
- б) полный, частичный;
- в) внезапный, постепенный;
- г) конструкционный, производственный, эксплуатационный;
- д) устранимый, неустранимый.

4. По характеру изменения основных параметров изделия отказы классифицируют на:

- а) зависимый, независимый;
- б) полный, частичный;
- в) внезапный, постепенный;
- г) конструкционный, производственный, эксплуатационный;
- д) устранимый, неустранимый.

5. Как называется схема отказа, возникающего в тех случаях, когда износ и (или) старение могут явиться косвенной причиной отказа?

- а) схема действия нескольких независимых причин;
- б) схема мгновенных повреждений;
- в) схема накапливающихся изменений;
- г) схема релаксации.

Рекомендуемая литература по теме 3.2: [1, 8].

Тема 3.3. Сбор, анализ и обработка данных о надежности

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Планирование наблюдений
- 2) Порядок и методика статистической обработки

Методические указания по проведению занятия

Статистической обработке информации предшествует планирование наблюдений, т.е. определение числа объектов наблюдений (объема выборки). Это минимальное число объектов N может быть определено двумя способами:

1. При известном законе распределения задают план наблюдений (как правило, один из семи рекомендованных Методическими указаниями «Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным». РД 50-690-89 [2]).

2. Если закон распределения неизвестен, то можно принять закон Вейбулла при $V_x \geq 0,3$ и нормальный закон распределения при $V_x < 0,3$. В обоих случаях рекомендуется при изучении показателей безотказности принимать доверительную вероятность $\gamma = 0,8$, а относительную ошибку $\delta = 0,2$.

Более подробно с методикой планирования наблюдений можно ознакомиться в [1, с. 83-84].

После получения (составления) сводки исходных данных их обработку производят в следующем порядке:

- проверка качества, т.е. анализ крайних, резко выделяющихся (выскакивающих) значений выборки;
- получение статистического построения и статистическая оценка его параметров;
- аппроксимация (замена, представление) эмпирического распределения теоретическим;
- проверка качества аппроксимации;
- нахождение требуемых характеристик надежности.

Проверка качества исходных данных предполагает анализ крайних членов выборки (минимального или максимального), значения которых отличаются от остальных членов этой же выборки, что обуславливается чаще всего грубыми ошибками при измерениях, переписывании данных или в самих испытаниях. В результате такого анализа принимается решение о сохранении или исключении из выборки этих проверяемых членов. Существует много разных способов проверки, из которых рассмотрим критерий Романовского, Ирвина, Груббса и рекомендации ОСТ 15-227-79. Например, при применении **критерия Романовского** вычисляют среднеарифметическое значение X_{cp} и среднеквадратическое значение S_x без учета проверяемого члена выборки (X_i). Затем вводят коэффициент t_α , зависящий от уровня значимости α и числа членов выборки N . Величина этого коэффициента принимается по специальным таблицам [1, с. 86] по величине α и N , $\alpha = 1 - P$. Вероятность P принятия правильного решения об отбрасывании крайнего члена устанавливается на уровне 0,9; 0,95; 0,98; 0,99; 0,999. Если $|(X_{cp} - X_i)| / S_x > t_\alpha$, то с выбранной вероятностью P значение X_i

можно исключить из выборки; если $|(X_{cp} - X_i)| / S_x \leq t_\alpha$ - то X_i остается в выборке.

С другими критериями можно ознакомиться в [1, с. 85-89].

После проверки качества исходных данных и соответствующей их корректировки переходят к обработке этих данных для построения эмпирического распределения. Можно рекомендовать такую последовательность:

- определение математического ожидания или среднеарифметического значения случайной величины;

- разбиение всего диапазона величин выборки на m равных интервалов;

- подсчет числа n_i^c значений, попадающих в каждый интервал;

- объединение (в случае необходимости) концевых (смежных) интервалов

для удовлетворения условия: $n_i^c \geq 5$;

- построение эмпирического распределения.

Подробнее с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 89-90].

Вопрос о выборе закона распределения является одним из наиболее важных на этой стадии расчета надежности при наличии статистических данных. В частности, от принятой гипотезы будут зависеть достоверность полученных результатов, эффективность сделанных выводов и рекомендаций. В каждом случае целесообразно производить тщательную проверку правильности принятого теоретического закона распределения различными способами и критериями. При этом рекомендуется метод «трех арбитров». Суть его заключается в использовании трех критериев проверки, по которым следует проверять конкурирующие гипотезы о возможности использования какого-то закона распределения. Если два из трех критериев дадут подтверждение какого-нибудь закона, то его следует принять как верный. После установления закона распределения (теоретического) найденные параметры эмпирического распространения подставляют в функцию теоретического распределения, и таким образом, могут быть рассчитаны искомые характеристики надежности.

Для проверки согласования эмпирического и теоретического (принимаемого) распределений чаще всего используют χ^2 критерий (Пирсона), хотя существуют и другие критерии: критерий согласия (Мизеса) для $N \leq 100$ и $N > 100$; критерий Колмогорова для $N > 100$; критерий согласия Романовского и др. Рассмотрим критерий Пирсона, как наиболее распространенный и один из наиболее жестких. Применение этого критерия требует, чтобы число наблюдений в каждом интервале было не менее пяти.

Схема применения критерия Пирсона:

- подсчитывают теоретическое число n_i^T наблюдений (значений) в каждом интервале. Это делается по формулам проверяемого теоретического закона

распределения. Эмпирическое число n_i^c величин в интервале известно из статистических данных;

- определяется наблюдаемое значение критерия:

$$\chi_{\text{набл.}}^k = \sum_i^m \frac{(n_i^c - n_i^T)^2}{n_i^T}, \quad (25)$$

где m – число интервалов;

- по таблице критических точек распределения χ^2 по заданному уровню значимости α и числу степеней свободы k определяют критическую точку $\chi_{\text{кр}}^2$.

Если $\chi_{\text{набл.}}^2 \leq \chi_{\text{кр}}^2$, то нет основания отвергнуть гипотезу, т.е. расхождения теоретических и эмпирических данных незначительное, т.е. принимаемый теоретический закон может аппроксимировать экспериментальное распределение.

Если $\chi_{\text{набл.}}^2 > \chi_{\text{кр}}^2$ гипотезу отвергают.

С критерием Пирсона и другими критериями можно ознакомиться в [1, с. 91-94, 8].

Тестовые вопросы к занятию

1. В чем заключается планирование наблюдений, предшествующее проведению испытаний изделий на надежность?

- а) в определении продолжительности испытаний;
- б) в установлении критериев прекращения испытаний;
- в) в установлении последовательности проведения испытаний;
- г) в определении объема выборки;
- д) в установлении места проведения испытаний.

2. В какой последовательности осуществляется обработка статистических данных, полученных по результатам испытания изделия на надежность?

а) проверка качества исходных данных, получение статистического построения и статистическая оценка его параметров, аппроксимация эмпирического распределения теоретическим, проверка качества аппроксимации;

б) получение статистического построения и статистическая оценка его параметров, проверка качества исходных данных, аппроксимация эмпирического распределения теоретическим, проверка качества аппроксимации;

в) проверка качества аппроксимации, проверка качества исходных данных, получение статистического построения и статистическая оценка его параметров, аппроксимация эмпирического распределения теоретическим;

г) аппроксимация эмпирического распределения теоретическим, проверка качества исходных данных, получение статистического построения и статистическая оценка его параметров, проверка качества аппроксимации;

д) проверка качества исходных данных, аппроксимация эмпирического распределения теоретическим, проверка качества аппроксимации, получение статистического построения и статистическая оценка его параметров.

3. Назовите первый этап проведения обработки статистических данных, полученных по результатам испытания изделия на надежность.

а) проверка качества аппроксимации;

б) проверка качества исходных данных;

в) получение статистического построения и статистическая оценка его параметров;

г) в аппроксимация эмпирического распределения теоретическим;

д) расчет показателей надежности.

4. В какой последовательности осуществляется обработка статистических данных для построения эмпирического распределения?

а) определение математического ожидания случайной величины, разбиение всего диапазона величин выборки на m равных интервалов, подсчет числа значений, попадающих в каждый интервал, построение эмпирического распределения;

б) разбиение всего диапазона величин выборки на m равных интервалов, подсчет числа значений, попадающих в каждый интервал, построение эмпирического распределения, определение математического ожидания случайной величины;

в) подсчет числа значений, попадающих в каждый интервал, определение математического ожидания случайной величины, разбиение всего диапазона величин выборки на m равных интервалов, построение эмпирического распределения;

г) построение эмпирического распределения, определение математического ожидания случайной величины, разбиение всего диапазона величин выборки на m равных интервалов, подсчет числа значений, попадающих в каждый интервал;

д) определение математического ожидания случайной величины, построение эмпирического распределения, разбиение всего диапазона величин выборки на m равных интервалов, подсчет числа значений, попадающих в каждый интервал.

5. С какой целью проводят аппроксимацию эмпирического распределения теоретическим?

а) проверка качества исходных данных;

б) планирование проведения испытаний;

в) расчет показателей надежности;

г) продолжительность проведения испытаний;

д) критерии прекращения испытаний.

Рекомендуемая литература по теме 3.2: [1, 2, 8].

Тема 3.4 Надежность технических систем

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Способы соединения элементов в системе
- 2) Расчет показателей надежности при разных способах соединения элементов
- 3) Функциональная схема системы и определение её показателей надежности
- 4) Целесообразность ремонта. Стратегии ремонта

Методические указания по проведению занятия

Надежность системы зависит, главным образом, от трёх факторов:

- надежности элементов, входящих в состав системы;
- характера соединения элементов;
- времени работы элементов на данном режиме.

При расчете надежности любой технической системы составляется её функциональная схема, в которой основные элементы связаны таким образом, чтобы эти связи отражали надежность работы. При расчете надежности любой технической системы составляется её функциональная схема, в которой основные элементы связаны таким образом, чтобы эти связи отражали надежность работы. При составлении функциональных (структурных) схем используют следующие обозначения способов соединения элементов:

- последовательное (основное) соединение;
- резервирование замещением (ненагруженный резерв);
- параллельное соединение (нагруженный резерв);
- скользящий резерв.

Более подробно со способами соединения элементов со схемами можно ознакомиться в [1, с. 94-97].

При последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы всей системы из n элементов за время t по теории надежности определяется:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t), \quad (26)$$

где $P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ – вероятности безотказной работы элементов 1, 2, ..., n системы соответственно.

При параллельном соединении элементов вероятность безотказной работы всей системы, состоящей из n элементов, определяется:

$$P(t) = 1 - (1 - P_1(t)) \cdot (1 - P_2(t)) \cdot \dots \cdot (1 - P_n(t)), \quad (27)$$

где $P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ – вероятности безотказной работы элементов 1, 2, ..., n системы соответственно.

Формулы для расчета других показателей надежности представлены в [1, с. 97-98].

После получения функциональной схемы системы определяют показатель надежности (вероятность безотказной работы) элементов в зависимости от способа их соединения элементов, превращая таким образом функциональную схему в ряд последовательно соединенных элементов. Показатель надежности всей системы $P_{\text{общ}}$ определяется по формуле для последовательно соединенных элементов.

Таким образом, зная функциональную схему системы и характеристики надежности, входящих в её состав элементов, можно оценить надежность работы различных схем соединения элементов, а затем и всей системы в целом [1, с. 98-99].

Целесообразность ремонта технических систем вытекает, как правило, из того, что для восстановления их качества в силу неравномерного износа, а также случайного характера износов и повреждений элементов требуется восстановление или замена лишь некоторой части узлов и элементов. Вследствие этого материальные затраты на выполнение ремонта, как правило, меньше, чем при изготовлении новых систем. Экономически целесообразно производить ремонт системы только до момента, когда стоимость ремонта и стоимость нового изделия станут равны.

Применяются две основные стратегии ремонта: по наработке и по техническому состоянию. Под стратегией ремонта по наработке понимается стратегия, согласно которой объем разборки изделия и дефектации его составных частей назначается единым для парка однотипных изделий в зависимости от наработки с начала эксплуатации и после капитального или среднего ремонта, а перечень операций восстановления определяется с учетом дефектации составных частей изделия.

При стратегии ремонта по техническому состоянию (РТС) перечень операций по разборке и восстановлению работоспособности определяется по результатам диагностирования изделия в момент начала ремонта. В отличие от стратегии ремонта по наработке перечень обязательных работ при РТС содержит только указания по объему диагностирования и некоторым вспомогательным работам, обеспечивающим его проведение. Объем же собственно ремонта (разборка, восстановление, контроль, регулировка, испытания) полностью зависит от результатов полученной при диагностировании оценки технического состояния изделия.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 99-102, 8].

Тестовые вопросы к занятию

1. Последовательным соединением элементов в системе называется

а) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа любого его элемента;

б) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа всех ее элементов;

в) соединение, при котором система работоспособна при работоспособности хотя бы одного из элементов;

г) соединение, при котором отказы элементов системы описываются простейшим потоком отказов;

д) соединение, при котором резервируемый и резервные элементы равнонадежны.

2. Параллельным соединением элементов в системе называется

а) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа любого его элемента;

б) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа всех ее элементов;

в) соединение, при котором система работоспособна при работоспособности хотя бы одного из элементов;

г) соединение, при котором отказы элементов системы описываются простейшим потоком отказов;

д) соединение, при котором резервируемый и резервные элементы равнонадежны.

3. Резервированием замещением элементов в системе называется

а) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа любого его элемента;

б) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа всех ее элементов;

в) соединение, при котором система работоспособна при работоспособности хотя бы одного из элементов;

г) соединение, при котором отказы элементов системы описываются простейшим потоком отказов;

д) соединение, при котором резервируемый и резервные элементы равнонадежны.

4. Скользящим резервом при последовательном соединении основных элементов в системе называется

а) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа любого его элемента;

б) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа всех ее элементов;

в) соединение, при котором система работоспособна при работоспособности хотя бы одного из элементов;

г) соединение, при котором отказы элементов системы описываются простейшим потоком отказов;

д) соединение, при котором резервируемый и резервные элементы равнонадежны.

5. Скользящим резервом при параллельном соединении основных элементов в системе называется

а) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа любого его элемента;

б) соединение, при котором отказ системы наступает в результате отказа всех ее элементов;

в) соединение, при котором система работоспособна при работоспособности хотя бы одного из элементов;

г) соединение, при котором отказы элементов системы описываются простейшим потоком отказов;

д) соединение, при котором резервируемый и резервные элементы равнонадежны.

Рекомендуемая литература по теме 3.4: [1, 8].

Тема 3.5. Организационные основы обеспечения надежности

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

1) Обеспечение надежности и методы её повышения

2) Расчет номенклатуры и количества запасных частей

Методические указания по проведению занятия

Способы обеспечения надежности разделены на три группы, при этом к каждой из них предъявляются свои требования.

Требования к конструктивным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования и (или) ограничения по затратам (стоимости) в изготовлении и эксплуатации, массе, габаритам, объему изделия и (или) его отдельных составных частей, оборудования для технического обслуживания и ремонтов;

- требования к структуре и составу;

- требования к системе технического диагностирования;

- требования и (или) ограничения к способам и средствам обеспечения ремонта и сохраняемости и др.

Требования к производственным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования к точностным параметрам технологического оборудования;

- требования к необходимости, длительности и режимам технологического прогона (обкатки, электротермотренировки и т.п.) изделий в процессе изготовления;

- требования к способам и средствам контроля уровня надежности (дефектности) в ходе производства и др.

Требования к эксплуатационным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования к системе технического обслуживания и ремонтов;

- требования к численности, квалификации, длительности обучения (подготовки) обслуживающего и ремонтного персонала;

- требования к способам устранения отказов и повреждений, порядку использования ЗИП, правилам регулировок и др.

Одним из способов повышения надежности является использование материалов повышенной прочности и износостойкости. Упрочнения можно добиться:

- горячей обработкой материалов давлением;

- термической и химико-термической обработкой;

- обработкой методом холодной пластической деформации (дробеструйная обработка, чеканка и др.);

- различными покрытиями рабочих поверхностей (напыление, хромирование и др.);

- лазерной обработкой.

Важным фактором в обеспечении надежности является защита деталей механизмов от вредного влияния вибрации и агрессивной среды. Поэтому при проектировании необходимо учитывать возможные вибрации и предусмотреть в конструкции специальные устройства для её снижения. Повышению надежности также служит стандартизация и унификация.

Более подробно с методами обеспечения надежности можно ознакомиться в [1, с. 102-104; 3, с. 151-178].

В зависимости от трудоемкости ремонта и места его проведения различают одиночный, ремонтный и групповой комплекты запасных частей.

Одиночный комплект запасных частей состоит из деталей и сборочных единиц, необходимых для замены вышедших из строя силами обслуживающего персонала.

Ремонтный комплект запасных частей состоит из сборочных единиц и деталей, необходимых для капитального ремонта. Этот комплект хранится на складах ремонтных предприятий.

Для случая аварийных ситуаций предусматривается групповой комплект запасных частей, который включает в себя отдельные агрегаты и сборочные единицы для устранения аварий агрегатным методом ремонта.

Число запасных частей в единичном комплекте n определяется на основании израсходованных n_n запасных частей раньше (за отчетный период) в этом механизме или группе механизмов:

$$n = n_n + 1,65\sqrt{n_n - 0,5} \quad (28)$$

При отсутствии механизма-аналога приемлемым считается следующий расчетный метод, исходными данными для которого являются:

- средний ресурс (средний срок службы) T_p (T_{cc}) до капитального ремонта;
- средняя наработка изделия до отказа T_{cp} ;
- информационные материалы о надежности деталей и сборочных единиц.

Количество запасных частей для одиночного комплекта можно рассчитать:

$$n_{cpi} = N_i \left(\frac{T_{pi}}{T_{cpi}} - 1 \right) \eta_{vi} \quad (29)$$

где n_{cpi} – среднее количество запасных деталей i -го типа;

N_i - количество однотипных i -х деталей в изделии;

$\eta_{vi} = \frac{1}{m_{vi} + 1}$ - коэффициент повторного восстановления i -й детали;

m_{vi} – число восстановлений i -го элемента (детали) (для невосстанавливаемых элементов $\eta_{vi} = 1$).

С изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 104-106, 8].

Тестовые вопросы к занятию

1. Какую информацию могут содержать требования к эксплуатационным способам обеспечения надежности?

- а) требования к системе технического диагностирования;
- б) требования к точностным параметрам технологического оборудования;
- в) требования к системе технического обслуживания и ремонтов;
- г) требования к численности, квалификации, длительности обучения (подготовки) обслуживающего и ремонтного персонала;
- д) требования и (или) ограничения к способам и средствам обеспечения ремонта и сохраняемости.

2. Какую информацию могут содержать требования к конструктивным способам обеспечения надежности?

- а) требования к системе технического диагностирования;
- б) требования к точностным параметрам технологического оборудования;
- в) требования к системе технического обслуживания и ремонтов;
- г) требования к численности, квалификации, длительности обучения (подготовки) обслуживающего и ремонтного персонала;

д) требования и (или) ограничения к способам и средствам обеспечения ремонта и сохраняемости.

3. Какую информацию могут содержать требования к производственным способам обеспечения надежности?

а) требования к системе технического диагностирования;

б) требования к точностным параметрам технологического оборудования;

в) требования к системе технического обслуживания и ремонтов;

г) требования к численности, квалификации, длительности обучения (подготовки) обслуживающего и ремонтного персонала;

д) требования и (или) ограничения к способам и средствам обеспечения ремонта и сохраняемости.

4. Какой комплект запасных частей состоит из деталей и сборочных единиц, необходимых для замены вышедших из строя силами обслуживающего персонала?

а) ремонтный;

б) групповой;

в) одиночный;

г) ремонтный и одиночный;

д) групповой и ремонтный.

5. Какой комплект запасных частей состоит из сборочных единиц и деталей, необходимых для капитального ремонта?

а) ремонтный;

б) групповой;

в) одиночный;

г) ремонтный и одиночный;

д) групповой и ремонтный.

Рекомендуемая литература по теме 3.5: [1, 3, 8].

Тема 3.6. Испытания механизмов на надежность

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

1) Планы испытаний

Методические указания по проведению занятия

Испытания могут быть разбиты на 3 группы:

а) определительные, целью которых является оценка численных значений показателей надежности;

б) контрольные, в процессе которых проверяют соответствие фактических значений показателей надежности указанным в техническом задании и технических условиях;

в) граничные, заключающиеся в определении зависимости между предельно допустимыми значениями параметров изделий и характеристиками режимов эксплуатации.

Испытания проводятся по программе – методике испытаний, являющейся их организационно-методической основой. Она устанавливает план испытаний, методы обработки данных, правила принятия решений. План испытаний определяет число испытываемых изделий (объем выборки), порядок проведения испытаний (продолжительность), критерий прекращения испытаний.

В РД 50-690-89 [2] приведены 16 видов планов испытаний, наибольшее распространение из которых получили три: [NUT], [NRT], [NUN].

Применяющиеся в обозначениях планов испытаний буквы N, U, R, M, r означают:

N – число испытываемых объектов;

U – объекты после отказа не восстанавливаются и не заменяются;

R – объекты заменяются (но не восстанавливаются) в случае отказа;

M – объекты восстанавливаются в случае отказа;

r – число отказавших объектов.

Более подробно с изложенной информацией можно ознакомиться в [1, с. 107-109; 2, 8].

Тестовые вопросы к занятию

1. По цели испытания на надежность делятся на

- а) определительные, контрольные, граничные;
- б) обычные, ускоренные;
- в) в лабораторных условиях, в условиях эксплуатации;
- г) натурные, модельные;
- д) в нормальных условиях, в ужесточенных режимах.

2. По месту проведения испытания на надежность делятся на

- а) определительные, контрольные, граничные;
- б) обычные, ускоренные;
- в) в лабораторных условиях, в условиях эксплуатации;
- г) натурные, модельные;
- д) в нормальных условиях, в ужесточенных режимах.

3. План испытаний [NUN] означает

а) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых, но заменяемых в случае отказа объектов, испытания прекращаются при окончании времени испытаний T или наработки T для каждого из N объектов;

б) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменяемых объектов, испытания прекращаются при отказе всех испытываемых объектов;

в) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменимых объектов, испытания прекращаются при окончании времени испытаний T или наработки T для каждого неотказавшего объекта;

г) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменимых объектов, испытания прекращаются при отказе r объектов;

д) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых, но заменяемых в случае отказа объектов, испытания прекращаются при отказе r объектов.

4. План испытаний [NUr] означает

а) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых, но заменяемых в случае отказа объектов, испытания прекращаются при окончании времени испытаний T или наработки T для каждого из N объектов;

б) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменимых объектов, испытания прекращаются при отказе всех испытываемых объектов;

в) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменимых объектов, испытания прекращаются при окончании времени испытаний T или наработки T для каждого неотказавшего объекта;

г) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменимых объектов, испытания прекращаются при отказе r объектов;

д) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых, но заменяемых в случае отказа объектов, испытания прекращаются при отказе r объектов.

5. План испытаний [NUT] означает

а) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых, но заменяемых в случае отказа объектов, испытания прекращаются при окончании времени испытаний T или наработки T для каждого из N объектов;

б) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменимых объектов, испытания прекращаются при отказе всех испытываемых объектов;

в) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменимых объектов, испытания прекращаются при окончании времени испытаний T или наработки T для каждого неотказавшего объекта;

г) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых и незаменимых объектов, испытания прекращаются при отказе r объектов;

д) план испытаний, согласно которому на испытания ставятся N невосстанавливаемых, но заменяемых в случае отказа объектов, испытания прекращаются при отказе r объектов.

Рекомендуемая литература по теме 3.6: [1, 2, 8].

Раздел 4. Техногенный риск и его анализ

Тема 4.1. Общие понятия в связи с риском

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

1) Основные термины и определения

Методические указания по проведению занятия

Опасность – явление (природное или техногенное), в котором возможно возникновение явлений или процессов, способных поражать людей, наносить материальный ущерб, разрушительно действовать на окружающую человека среду.

Риск – частота реализации опасностей. Риск может быть определен как частота (размерность – обратное время) или вероятность возникновения события B при наступлении события A (безразмерная величина, лежащая в пределах 0-1).

Индивидуальный риск – риск (частота возникновения) поражающих воздействий определенного вида, возникающих при реализации определенных опасностей в определенной точке пространства (где может находиться индивидум).

Социальный риск – зависимость риска (частоты возникновения) событий, состоящих в поражении определенного числа людей, подвергаемых поражающим воздействиям определенного вида при реализации определенных опасностей, от этого числа людей.

Из определений видно, что риск, как правило, величина безразмерная. Однако, он может определяться и другими удобными способами.

Для оценки риска, свойственного какому-либо технологическому процессу, может быть предложен следующий подход. В качестве характеристики, определяющей масштаб отрицательного действия ОВПФ на работающих, примем величину, равную произведению трех величин: балльной оценки фактора X , количества работников, находящихся под его воздействием N , и продолжительности воздействия фактора t :

$$R = \sum_i \sum_j X_{ij} \cdot N_{ij} \cdot t_{ij} \quad (30)$$

где i – число технологических операций, из которых состоит технологический процесс;

j - число ОВПФ, возникающих на i -той операции.

Таким образом, определенный риск имеет единицы измерения – балл·чел.· час.

Вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций применительно к техническим объектам и технологиям оценивают на основе статистических данных или теоретических исследований. На основе статистических данных можно получить следующие стандартные статистические характеристики:

- коэффициент частоты несчастных случаев

$$K_{\text{ч}} = \frac{HC}{P} \cdot 1000, \quad (31)$$

где HC – число несчастных случаев за анализируемый период;

P – среднесписочная численность работников в рассматриваемом периоде.

- коэффициент тяжести несчастных случаев

$$K_{\text{т}} = \frac{\Sigma D}{HC}, \quad (32)$$

где ΣD – суммарное число дней временной нетрудоспособности, вызванных всеми несчастными случаями.

- коэффициент частоты несчастных случаев со смертельным исходом

$$K_{\text{см}} = \frac{HC_{\text{см}}}{P} \cdot 1000, \quad (33)$$

где $HC_{\text{см}}$ – число несчастных случаев со смертельным исходом.

- коэффициент обобщенных трудовых потерь

$$K_{\text{об}} = K_{\text{ч}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{см}} \cdot 6000, \quad (34)$$

где 6000 – условные трудовые потери в днях на один несчастный случай со смертельным исходом.

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 110-116].

Тестовые вопросы к занятию

1. Укажите термин, соответствующий определению: «явление (природное или техногенное), в котором возможно возникновение явлений или процессов, способных поражать людей, наносить материальный ущерб, разрушительно действовать на окружающую человека среду»

а) опасность;

б) риск;

- в) индивидуальный риск;
- г) социальный риск;
- д) ущерб.

2. Укажите термин, соответствующий определению: «частота реализации опасностей»

- а) опасность;
- б) риск;
- в) индивидуальный риск;
- г) социальный риск;
- д) ущерб.

3. Укажите термин, соответствующий определению: «риск (частота возникновения) поражающих воздействий определенного вида, возникающих при реализации определенных опасностей в определенной точке пространства (где может находиться индивидуум)»

- а) опасность;
- б) риск;
- в) индивидуальный риск;
- г) социальный риск;
- д) ущерб.

4. Укажите термин, соответствующий определению: «зависимость риска (частоты возникновения) событий, состоящих в поражении определенного числа людей, подвергаемых поражающим воздействиям определенного вида при реализации определенных опасностей, от этого числа людей»

- а) опасность;
- б) риск;
- в) индивидуальный риск;
- г) социальный риск;
- д) ущерб.

5. Какой показатель производственного травматизма определяется в зависимости от числа суммарное число дней временной нетрудоспособности, вызванных всеми несчастными случаями за отчетный период и числа несчастных случаев за анализируемый период:

- а) коэффициентом тяжести несчастных случаев;
- б) коэффициентом частоты несчастных случаев;
- в) коэффициентом потерь;
- г) коэффициентом обобщенных трудовых потерь.

6. Какой показатель производственного травматизма определяется в зависимости от числа суммарное число дней временной нетрудоспособности, вызванных всеми несчастными случаями за отчетный период и среднесписочная численность работников в рассматриваемом периоде:

- а) коэффициентом тяжести несчастных случаев;
- б) коэффициентом частоты несчастных случаев;
- в) коэффициентом потерь;
- г) коэффициентом обобщенных трудовых потерь.

Рекомендуемая литература по теме 4.1: [1].

Тема 4.2. Методы качественного анализа надежности и риска системы человек-машина-среда

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Предварительный анализ опасностей
- 2) Анализ последствий отказов
- 3) Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального чепе
- 4) Анализ опасностей с помощью дерева последствий потенциального чепе
- 5) Анализ опасностей методом потенциальных отклонений
- 6) Причинно-следственный анализ

Методические указания по проведению занятия

Предварительный анализ опасностей (ПАО) обычно осуществляют в следующем порядке:

- 1) изучают технические характеристики объекта, системы, процесса, а также используемые энергетические источники, рабочие среды, материалы; устанавливают их повреждающие свойства;
- 2) устанавливают законы, стандарты, правила, действия которых распространяются на данный технический объект, систему, процесс;
- 3) проверяют техническую документацию на её соответствие законам, правилам, принципам и нормам стандартов безопасности;
- 4) составляют перечень опасностей, в котором указывают идентифицированные источники опасностей (системы, подсистемы, компоненты), повреждающие факторы, потенциальные чепе, выявленные недостатки.

Более подробно с рассмотренным методом можно ознакомиться в [1, с. 117].

Анализ последствий отказов (АПО) обычно осуществляют в следующем порядке:

- 1) техническую систему (объект) подразделяют на компоненты;
- 2) для каждого компонента выявляют возможные отказы, используя соответствующий алгоритм;
- 3) изучают потенциальные чепе, которые может вызвать тот или иной отказ на исследуемом техническом объекте;
- 4) результаты записывают в виде таблицы;

5) отказы ранжируют по опасностям и разрабатывают предварительные меры, включая конструкционные изменения.

Более подробно с рассмотренным методом можно ознакомиться в [1, с. 118-120].

Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального чепе (АОДП) обычно выполняют в следующем порядке. Сначала выбирают потенциальное чепе (например, н-чепе или какой-либо отказ, который может привести к н-чепе). Затем выявляют все факторы, которые могут привести к данному чепе (системы, подсистемы, события, связи и т.д.). По результатам этого анализа строят ориентированный граф. Вершина этого графа занумерована потенциальным чепе. Поэтому граф является деревом. При построении дерева используют специальные символы. После завершения АОДП можно от качественных характеристик приступить к количественному анализу.

Более подробно с рассмотренным методом можно ознакомиться в [1, с. 120-124].

Анализ опасностей с помощью дерева последствий потенциального чепе (АОДПО) отличается от АОДП тем, что в случае АОДПО задается потенциальное чепе – инициатор, и исследуют всю группу событий – последствий, к которым оно может привести. Этот анализ можно проводить на любом объекте. Он требует хорошее знание объекта. Поэтому перед тем, как проводить АОДПО, необходимо тщательно изучить объект, вспомогательное оборудование, параметры окружающей среды, организационные вопросы. При построении дерева используют специальные символы.

Более подробно с рассмотренным методом можно ознакомиться в [1, с. 125-127].

Отклонение – режим функционирования какого-либо объекта, системы, процесса или какой-либо их части (компонента), отличающейся в той или иной мере от конструктивного предназначения (замысла).

Метод потенциальных отклонений (МПО) – процедура искусственного создания отклонений с помощью ключевых слов. Этим методом анализируют опасности герметичных процессов и систем. Наибольшее распространение он получил в химической промышленности. Этому методу предшествует ПАО.

После того, как с помощью ПАО были установлены источники опасностей (системы, чепе), необходимо выявить те отклонения, которые могут привести к этим чепе. Для этого разбивают технологический процесс или герметичную систему на составные части. Создавая с помощью ключевых слов отклонения, систематично изучают их потенциальные причины и те последствия, к которым они могут привести на практике.

Более подробно с рассмотренным методом можно ознакомиться в [1, с. 127-130].

Причинно-следственный анализ (ПСА) выявляет причины происшедшего чепе. Тем не менее, ПСА является составной частью общего анализа опасностей. Он завершается прогнозом новых чепе и составлением плана мероприятий по их предупреждению.

Анализ начинают со сбора информации, которая призвана описать чепе точно и объективно. Составляют перечень событий, предшествовавших чепе, при этом обращают внимание на то, что регистрируемые реальные события и факты бывают двух видов: носящие случайный и постоянный характер. Перечень может содержать достаточно большое число событий, предшествовавших чепе, и по нему трудно дать заключение. В этом случае целесообразно построить ориентированный граф – дерево причин. Построение начинают с последней стадии развития событий, а именно, с чепе-несчастья. По каждому предшествующему событию последовательно ставят следующие вопросы. Каким предшествующим событием X было непосредственно вызвано событие Y ? Достаточно ли было одного события X , чтобы вызвать Y ? Если нет, то какие предшествующие другие события X_1, X_2, \dots, X_n еще необходимы, чтобы непосредственно вызвать событие Y ?

Логическая структура дерева причин такова, что при отсутствии хотя бы одного из предшествующих событий n -чепе произойти не может. Это является хорошей основой для того, чтобы сформулировать предупредительные меры с целью: а) исключить повторение n -чепе данного типа; б) избежать более или менее аналогичных n -чепе.

Более подробно с рассмотренным методом можно ознакомиться в [1, с. 130-133].

Тестовые вопросы к занятию

1. Какой из перечисленных методов анализа надежности и риска системы человек-машина-среда основан на системном подходе и имеет характер прогноза?

- а) анализ опасностей с помощью дерева причин;
- б) анализ последствий отказов;
- в) анализ опасностей с помощью дерева последствий;
- г) анализ опасностей методом потенциальных отклонений;
- д) причинно-следственный анализ.

2. При каком из перечисленных методов анализа надежности и риска системы человек-машина-среда сначала выбирают потенциальное чепе, а затем выявляют все факторы, которые могут привести к данному чепе?

- а) анализ опасностей с помощью дерева причин;
- б) анализ последствий отказов;
- в) анализ опасностей с помощью дерева последствий;

- г) анализ опасностей методом потенциальных отклонений;
- д) причинно-следственный анализ.

3. При каком из перечисленных методов анализа надежности и риска системы человек-машина-среда сначала задается потенциальное чепе-инициатор, а затем исследуют всю группу событий-последствий, к которым оно может привести?

- а) анализ опасностей с помощью дерева причин;
- б) анализ последствий отказов;
- в) анализ опасностей с помощью дерева последствий;
- г) анализ опасностей методом потенциальных отклонений;
- д) причинно-следственный анализ.

4. При каком из перечисленных методов анализа надежности и риска системы человек-машина-среда искусственно создают с помощью ключевых слов отклонения, которые могут привести к чепе, изучают их потенциальные причины и те последствия, к которым они могут привести?

- а) анализ опасностей с помощью дерева причин;
- б) анализ последствий отказов;
- в) анализ опасностей с помощью дерева последствий;
- г) анализ опасностей методом потенциальных отклонений;
- д) причинно-следственный анализ.

5. При каком из перечисленных методов анализа надежности и риска системы человек-машина-среда выявляются причины происшедшего чепе, а также прогнозируются новые чепе и составляется план мероприятий по их предупреждению?

- а) анализ опасностей с помощью дерева причин;
- б) анализ последствий отказов;
- в) анализ опасностей с помощью дерева последствий;
- г) анализ опасностей методом потенциальных отклонений;
- д) причинно-следственный анализ.

Рекомендуемая литература по теме 4.2: [1].

Тема 4.3. Методы количественного анализа надежности и риска

Форма проведения занятия – лекция.

Вопросы для обсуждения

- 1) Подсистемы и чепе ИЛИ, И
- 2) Численный анализ риска

Методические указания по проведению занятия

Подсистемой **ИЛИ** называют часть системы ЧМС, компоненты которой соединены последовательно. Отказ подсистемы есть **чепе ИЛИ**. К чепе ИЛИ приводит отказ любого компонента подсистемы.

Будем обозначать отказы теми же буквами, что и компоненты. Если E_j – отказ j -го компонента (компонента E_j), то чепе ИЛИ есть событие:

$$E = E_1 + E_2 + \dots + E_m = \sum_{j=1}^m E_j, \quad (35)$$

где m – число компонентов.

Если отказы компонентов можно рассматривать как взаимно независимые, то вероятность чепе ИЛИ:

$$P\left\{\sum_{j=1}^m E_j\right\} = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P\{E_j\}). \quad (36)$$

Подсистемой **И** называют ту часть системы ЧМС, компоненты которой соединены параллельно. Отказ этой подсистемы есть чепе И. К чепе И приводит отказ всех компонентов подсистемы:

$$E = E_1 \cdot E_2 \dots \cdot E_m = \prod_{j=1}^m E_j. \quad (37)$$

Если отказы компонентов можно считать взаимно независимыми, то вероятность чепе И:

$$P\{E\} = \prod_{j=1}^m P\{E_j\}. \quad (38)$$

Подсистемой **И – ИЛИ** называют ту часть системы ЧМС, которая соединяет подсистемы ИЛИ в подсистему И. Отказ подсистемы И – ИЛИ есть чепе И - ИЛИ. Параллельно соединенные компоненты $E_i (i = 1, \dots, m)$, образующие подсистему И, представляют собой подсистемы ИЛИ, состоящие из последовательно соединенных компонентов $E_{ij} (j = 1, \dots, n_i)$.

Вероятность чепе И – ИЛИ:

$$P\{E\} = \prod \left[1 - \prod_{j=1}^{n_i} (1 - P\{E_{ij}\}) \right]. \quad (39)$$

Подсистемой **ИЛИ – И** в системе ЧМС называют подсистемы И, соединенные в подсистему ИЛИ. Последовательно соединенные компоненты $E_i (i = 1, \dots, m)$, образующие подсистему ИЛИ, представляют собой подсистемы И из параллельно соединенных компонентов $E_{ij} (j = 1, \dots, n_i)$.

Вероятность чепе ИЛИ – И

$$P\{E\} = 1 - \prod_{i=1}^m \left[1 - \prod_{j=1}^{n_i} P\{E_{ij}\} \right]. \quad (40)$$

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 135-139].

Для оценки риска используют различные математические формулировки, выбор которых зависит от имеющейся информации.

Когда последствия неизвестны, то под риском обычно понимают просто вероятность наступления определенного сочетания нежелательных событий:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i . \quad (41)$$

При необходимости можно использовать определение риска как вероятность превышения предела:

$$R = p(\xi > x) , \quad (42)$$

где ξ – случайная величина;

x – некоторое значение.

Риск, связанный с техникой, обычно оценивают по формуле, включающей как вероятность чепе, так и величину последствий U (обычно ущерб):

$$R = P \cdot U . \quad (43)$$

Если каждому i -му чепе, происходящему с вероятностью P_i , может быть поставлен в соответствие ущерб U_i , то величина риска будет представлять собой ожидаемую величину ущерба:

$$P = U = \sum_{i=1}^n P_i U_i . \quad (44)$$

Принято различать риск индивидуальный и социальный. Индивидуальный риск можно определить как ожидаемое значение ущерба U причиненного чепе за интервал времени T и отнесенное к группе людей численностью M человек:

$$R = U / T \cdot M . \quad (45)$$

Социальный риск (для группы людей):

$$R = U / T . \quad (46)$$

Более подробно с изложенным материалом можно ознакомиться в [1, с. 139-140].

Тестовые вопросы к занятию

1. Как называют часть системы человек-машина-среда, компоненты которой соединены последовательно?

- а) подсистема ИЛИ;
- б) подсистема И-ИЛИ;
- в) подсистема И;
- г) подсистема ИЛИ-И;
- д) подсистема ИЛИ-ИЛИ.

2. Как называют часть системы человек-машина-среда, компоненты которой соединены параллельно?

- а) подсистема ИЛИ;
- б) подсистема И-ИЛИ;
- в) подсистема И;

- г) подсистема ИЛИ-И;
- д) подсистема ИЛИ-ИЛИ.

3. Как называют часть системы человек-машина-среда, которая соединяет подсистемы ИЛИ в подсистему И?

- а) подсистема ИЛИ;
- б) подсистема И-ИЛИ;
- в) подсистема И;
- г) подсистема ИЛИ-И;
- д) подсистема ИЛИ-ИЛИ.

4. Как называют часть системы человек-машина-среда, которая соединяет подсистемы И в подсистему ИЛИ?

- а) подсистема ИЛИ;
- б) подсистема И-ИЛИ;
- в) подсистема И;
- г) подсистема ИЛИ-И;
- д) подсистема ИЛИ-ИЛИ.

5. Как оценивают риск при неизвестных последствиях?

- а) как вероятность превышения предела;
- б) как вероятность наступления определенного сочетания нежелательных событий;
- в) по формуле, включающей как вероятность чепе, так и величину последствий;
- г) как ожидаемое значение ущерба U причиненного чепе за интервал времени T и отнесенное к группе людей численностью M человек;
- д) как ожидаемое значение ущерба U причиненного чепе за интервал времени T .

Рекомендуемая литература по теме 4.3: [1].

2. Методические указания по подготовке и сдаче экзамена

Форма проведения экзамена – устная.

Вопросы к экзамену по дисциплине.

1. Элементы математической логики. Простейшие логические связки.
2. Элементы математической логики. Импликация, эквивалентность.
3. Элементы математической логики. Логические возможности.
4. Элементы теории множеств. Понятие множества.
5. Элементы теории множеств. Операции над множествами.
6. Элементы теории графов. Основные определения и понятия. Степени и полустепени вершин графа.
7. Элементы теории графов. Маршруты графа. Части графа.
8. Элементы теории графов. Унарные и бинарные операции.

9. Элементы теории вероятностей. Основные понятия теории вероятностей.
10. Элементы теории вероятностей. Теорема сложения вероятностей. Теорема умножения вероятностей.
11. Элементы теории вероятностей. Следствия теорем сложения и умножения. Формула полной вероятности.
12. Виды случайных величин. Характеристики дискретных случайных величин.
13. Нормальное распределение. Показательное распределение.
14. Элементы системы и системного анализа. Основные определения.
15. Элементы системы и системного анализа. Модели состава системы и структуры системы. Структурная схема системы.
16. Элементы системы и системного анализа. Иерархия. Процессы в системе. Большая и сложная системы.
17. Система человек-машина-среда. Особенности и структура.
18. Классификация систем человек-машина-среда.
19. Понятия и аппарат анализа опасностей систем человек-машина-среда.
20. Состояния и события, характеризующие надежность. Восстанавливаемые и невосстанавливаемые изделия.
21. Безотказность машин и технических систем и ее показатели.
22. Долговечность машин и технических систем и ее показатели.
23. Показатели ремонтпригодности и сохраняемости машин и технических систем. Комплексные показатели надежности.
24. Установление номенклатуры показателей надежности машин и технических систем.
25. Определение показателей безотказности машин и технических систем.
26. Определение показателей долговечности и комплексных показателей надежности машин и технических систем.
27. Определение нормативных показателей надежности машин и технических систем.
28. Классификация отказов машин и технических систем.
29. Схемы отказов машин и технических систем.
30. Математический аппарат, применяемый для определения показателей надежности.
31. Планирование наблюдений при получении количественных показателей надежности.
32. Порядок статистической обработки показателей надежности. Проверка качества исходных данных (критерии Романовского, Ирвина, Груббса).
33. Порядок статистической обработки показателей надежности. Построение эмпирического распределения и статистическая оценка его параметров.

34. Порядок статистической обработки показателей надежности. Аппроксимация эмпирической гистограммы теоретическим распределением (критерий Пирсона, Мизеса).
35. Надежность технических систем. Способы соединения элементов в системе.
36. Расчет показателей надежности технических систем при разных способах соединения элементов.
37. Функциональная схема технической системы и определение ее показателей надежности.
38. Целесообразность ремонта. Стратегии ремонта.
39. Расчет номенклатуры и количества запасных частей.
40. Планы испытаний на надежность машин и технических систем.
41. Общие понятия в связи с риском.
42. Методы качественного анализа риска СЧМС. Общий подход к анализу риска. Предварительный анализ опасностей.
43. Методы качественного анализа риска СЧМС. Анализ последствий отказов.
44. Методы качественного анализа риска СЧМС. Анализ опасностей с помощью дерева причин потенциального чепе.
45. Методы качественного анализа риска СЧМС. Анализ опасностей с помощью дерева последствий потенциального чепе.
46. Методы качественного анализа риска СЧМС. Анализ опасностей методом потенциальных отклонений.
47. Методы качественного анализа риска СЧМС. Причинно-следственный анализ.
48. Методы количественного анализа риска СЧМС. Функция опасности для системы ЧМС.
49. Методы количественного анализа риска СЧМС. Подсистемы и чепе ИЛИ, И.
50. Численный анализ риска СЧМС.

Типовые экзаменационные задачи по дисциплине

1. При наблюдении за 10-ю форсунками двигателя внутреннего сгорания выявилось, что за 350 ч работы 3 форсунки вышли из строя. Найти вероятность безотказной работы и вероятность отказа.

2. К условиям первой задачи добавить информацию: после 350 ч работы за 50 ч вышли из строя еще 3 форсунки. Найти частоту и интенсивность отказов.

3. Были проведены наблюдения за 6-ю форсунками двигателя внутреннего сгорания, интенсивности отказа которых $2,571 \cdot 10^{-3}$ 1/ч; $2,978 \cdot 10^{-3}$ 1/ч; $2,129 \cdot 10^{-3}$ 1/ч; $1,121 \cdot 10^{-3}$ 1/ч; $2,474 \cdot 10^{-3}$ 1/ч; $3,074 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. Найти среднюю наработку до отказа.

4. При испытаниях двигателя автомобиля контролировали наружные диаметры компрессионных колец поршней цилиндров. Начальный диаметр ко-

лец составлял 80 мм. По истечении 5000 ч были измерены диаметры 6 колец. Получили следующие значения: 79,80 мм; 79,85 мм; 79,82 мм; 79,84 мм; 79,80 мм; 79,86 мм. Величина предельно-допустимого износа колец составляет 0,1 мм. Определить средний технический ресурс работы компрессионных колец.

5. В результате испытания двух дизелей было установлено, что наработка первого составила 3615 ч, второго – 4005 ч. За это время произошло 5 отказов, что потребовало восстановления их работоспособности. Время восстановления первого составило 14 ч, второго – 18 ч. Определить коэффициент готовности и среднее время восстановления работоспособного состояния.

6. Оценить вероятность отсутствия отказов механизма в течение 10000 ч, если интенсивность отказов составляет 10^{-8} 1/ч. Принять экспоненциальный закон распределения.

3. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы по дисциплине

Дисциплина «Надежность технических систем» - одна из важных дисциплин, определяющих уровень профессиональной подготовки будущего специалиста. При изучении математического аппарата надежности и техногенного риска необходимо вспомнить те разделы математики, на которых базируется теория надежности, ведь без этих знаний невозможно произвести необходимые расчеты. Изучая элементы системы и системного анализа, необходимо понимать, что системный подход необходим для определения показателей надежности технических систем, а также для анализа техногенного риска.

Рекомендуется посещение всех видов занятий, ведение конспектов, что, как показывает опыт, способствует более полному и прочному освоению дисциплины.

В состав дисциплины входят практические занятия, которые состоят из решения задач и семинаров. Задачи разделены по отдельным темам и рассматриваются в той же последовательности, что и лекционный материал. К практическим занятиям необходимо готовиться. В конце семестра студенты должны предъявить все решенные задачи и объяснить ход решения. На практических занятиях, проводимых в форме семинара, выставляются оценки. Для подготовки к этим занятиям следует использовать методические указания по подготовке к практическим занятиям.

Необходимым этапом освоения дисциплины является расчетно-графическая работа по ней. Тематика расчетно-графических работ направлена на углубление, систематизацию и закрепление знаний полученных в лекционном курсе, на практических занятиях, а также выработку навыков самостоятельной работы с нормативно-технической документацией, умения анализировать и обобщать теоретический и практический материал, использовать ре-

зультаты анализа для принятия решений. В каждой расчетно-графической работе обязательно должны быть обзор современных нормативных требований безопасности применительно к объекту проектирования и расчетная часть. Содержание расчетно-графических работ должно быть направлено на расчет показателей надежности технических систем и применение методов качественного и количественного анализа риска технических систем. Подготовку расчетно-графической работы следует начинать уже с середины семестра и по всем возникшим вопросам своевременно обращаться к преподавателю.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем учебно-методическом пособии в наиболее доступных формах изложен достаточно сложный материал. Учебно-методическое пособие написано и построено таким образом, чтобы студент самостоятельно мог разобраться в терминах, понятиях, теории вопроса и других нюансах дисциплины. Предназначено для помощи студентам в освоении практических навыков и умений.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Евдокимова, Н.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / Н.А. Евдокимова. – Калининград: КГТУ, 2004. – 146 с.
2. РД 50-690-89. Методические указания. «Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным».
3. Воскобоев, В.Ф. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / В.Ф. Воскобоев. – Москва: Альянс. Ч.1: Надежность технических систем. – 2014. – 200 с.
4. Теория графов и математическая логика: учебное пособие / А. А. Городов, Л. И. Лыткина, А. М. Попов [и др.]. – Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2023. – 154 с. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система.
5. Бакланова, Г. А. Математика: элементы теории множеств: учебно-методическое пособие / Г. А. Бакланова. – Барнаул : АлтГПУ, 2021. – 69 с. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.
6. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений, по направлениям подгот. и специальностям в обл. техники и технологии / Ю. Н. Антипов, Ж. И. Веницкая, Т. А. Кутузова; Калинингр. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2021. – 194 с.
7. Воронов, Ю. Е. Основы системного анализа: учебное пособие / Ю. Е. Воронов, А. А. Баканов. – Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – 133 с. – ISBN 978-5-00137-381-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.
8. Сугак, Е. В. Прикладная теория надежности. Часть 2. Надежность технических систем / Е. В. Сугак. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 240 с. – ISBN 978-5-507-46747-1. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система.

Локальный электронный методический материал

Евдокимова Наталья Анатольевна

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 4,6. Печ. л. 3,8.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1