Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Н.А. Евдокимова

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

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

Калининград
2022

УДК 658.382.3

Рецензент
кандидат биологических наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО
«Калининградский государственный технический университет»
Е.А. Масюткина

Евдокимова, Н.А, Надежность технических систем и техногенный риск: учеб.-методич. пособие по практическим занятиям для студ. бакалавриата по напр. подгот. 20.03.01 Техносферная безопасность / Н.А. Евдокимова. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 69 с.

Учебно-методическое пособие содержит указания по подготовке к практическим занятиям по разделам дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск», включающие методические рекомендации по выполнению заданий, примеры выполнения заданий (вопросы к семинарскому занятию), практические задания по каждой теме, тесты (вопросы) для самоконтроля, список рекомендуемой литературы.

Рис. – 9, табл. 13, 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» «29» июня 2022 г., протокол № 5

УДК 658.382.3

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

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.

Задачи дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск»: формирование способности у обучаемых разработки физических и математических моделей системы человек-машина-среда; анализ показателей надежности систем данного вида; анализ опасностей и рисков, связанных с созданием и эксплуатацией современной техники и технологий.

Целью практикума является формирование системы знаний по надёжности технических систем и риску нарушения безопасности жизнедеятельности в техносфере, формирование практических навыков по предупреждению (или реагированию) на явления чрезвычайных ситуаций, обусловленных техногенными.

Задачами практикума являются:

– изучение понятийного аппарата современной теории надёжности технических систем и техногенного риска;

– изучение методов и средств обеспечения и повышения надёжности технических систем в процессе их разработки и эксплуатации;

– овладение навыками предупреждающего (профилактического) и аварийного реагирования на чрезвычайные ситуации.

В результате освоения заданий практикума студент должен

знать:

- основные принципы анализа и моделирования надежности технических систем;

- основные принципы определения приемлемого риска.

уметь:

- проводить расчеты надежности и работоспособности основных видов механизмов;

- прогнозировать аварии и катастрофы.

владеть:

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

Учебно-методическое пособие состоит из:

введения, где указаны: дисциплина учебного плана, для изучения которой оно предназначено; цели и задачи дисциплины; цели и задачи практикума; требования к знаниям, умениям и навыкам, которыми должен овладеть студент после выполнения заданий практикума;

основной части, которая содержит тему и цель каждого практического занятия, методические рекомендации по выполнению заданий, примеры выполнения заданий (вопросы к семинарскому занятию), практические задания по каждой теме, тесты (вопросы) для самоконтроля; виды текущего контроля, последовательности его проведения, критерии и нормы оценки (отметки) выполнения практических заданий;

списка рекомендуемых источников.

Практическое занятие 1
Тема: Элементы математической логики
Цель: овладение знаниями, умениями, методами математической логики, необходимыми при изучении надежности технических систем
Форма проведения занятия – упражнения

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §1.1 главы 1 учебного пособия [1].

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

Одним из важнейших понятий в математической логике является высказывание. Высказыванием называется предложение, относительно которого имеет смысл утверждать, истинно оно или ложно.

Высказывания обозначаются заглавными латинскими буквами: A, B, C, X, 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.

В математической логике отвлекаются от конкретного содержания высказываний и интересуются лишь вопросом, является ли оно истинным или ложным. Если высказывание истинно, то говорят, что оно принимает значение «1», а если ложно, то – «0».

Конъюнкцией двух высказываний A и B называется высказывание $A \wedge B$ (читается «A и B»), которое считается истинным, если оба высказывания истинны и ложным, если хотя бы одно из них ложно.

Таблица истинности конъюнкции имеет вид

A	0	1	0	1
B	0	0	1	1
$A \wedge B$	0	0	0	1

Дизъюнкцией двух высказываний A и B называется высказывание $A \vee B$ (читается «A или B), которое считается истинным, если хотя бы одно из высказываний истинно, и ложным, если оба ложными.

Таблица истинности дизъюнкции имеет вид

A	0	1	0	1
B	0	0	1	1
$A \vee B$	0	1	1	1

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

Таблица истинности отрицания имеет вид

A	0	1
$\bar{A}$	1	0

Импликацией двух высказываний А и В называется высказывание $A \to B$ (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).

Таблица истинности импликации имеет вид

A	0	1	0	1
B	0	0	1	1
$A \to B$	1	0	1	1

Эквивалентностью двух высказываний А и В называется высказывание $A \sim B$ (читается «А эквивалентно В» или «А, если и только если В»), которое считается истинным, если оба высказывания одновременно истинны, либо ложны, и ложным в остальных случаях.

Таблицы истинности эквивалентности имеет вид

A	0	1	0	1
B	0	0	1	1
$A \sim B$	1	0	0	1

Построение новых высказываний из данных называется логическими операциями.

Порядок действия в формулах:

1. Отрицание предшествует всем остальным действиям.

2. Конъюнкция предшествует дизъюнкции, которая в свою очередь предшествует импликации и эквивалентности.

3. Импликация и эквивалентность выполняются в порядке следования.

4. При необходимости изменить эту последовательность действий применяются скобки.

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. Какие из следующих предложений являются высказываниями:

а) Бронза – сплав железа и меди;

б) 15+2-11.

Решение

а) Поскольку в отношении данного предложения можно утверждать оно истинно или ложно, то, следовательно, оно является высказыванием;

б) Поскольку в отношении данного предложения нельзя утверждать оно истинно или ложно, то, следовательно, оно не является высказыванием.

Задача 2. Пусть А означает: «число а делится на число в», В означает: «число а делится на число с» и С означает: «число а делится на произведение чисел в и с». Сформулировать предложения, записанные в виде формул:

а) $A \wedge B$;

б) $A \wedge B \to C$.

Решение

а) В данной формуле используется логическая связка «конъюнкция», которая читается «А и В». Следовательно, записанное в виде формулы предложение в данном случае имеет следующую формулировку: «Число а делится на число в и на число с».

б) В данной формуле используется две логические связки: «конъюнкция», которая читается «А и В», и импликация, которая читается «если А, то В». При решении задачи необходимо учесть порядок действия в формуле, а именно то, что конъюнкция предшествует импликации. Следовательно, записанное в виде формулы предложение в данном случае имеет следующую формулировку: «Если число а делится на числа в и с, то число а делится на произведение чисел в и с».

Задача 3. Пусть А означает: «идет дождь», а В означает: «дует ветер». Записать в символической форме высказывания:

а) если идет дождь, то дует ветер;

б) если дует ветер, то нет дождя.

Решение

а) При построении данного высказывания использована логическая связка «импликация», которая читается «если А, то В» и обозначается $A \to B$. Следовательно мы получаем следующую символическую форму данного высказывания:

$A \to B$

б) При построении данного высказывания использованы две логические связки: «импликация», которая читается «если А, то В» и обозначается $A \to B$, и «отрицание», которая читается «не А» и обозначается $\bar{A}$. Следовательно мы получаем следующую символическую форму данного высказывания:

$B \to \bar{A}$

Задача 4. Построить таблицу истинности для следующей формулы: $A \wedge \overline{B}$.

Решение

Сначала определяем логические связки, используемые в формуле: «конъюнкция» и «отрицание». Согласно порядку действия в формулах отрицание предшествует всем остальным действиям. Поэтому при построении таблицы истинности после записи возможных значений А и В сначала получим таблицу истинности для $\overline{B}$. Вторым шагом будет построение таблицы истинности для конъюнкции $A \wedge \overline{B}$.

A	0 1 0 1
B	0 0 1 1
$\overline{B}$	1 1 0 0
$A \wedge \overline{B}$	0 1 0 0

3. Практические задания

Задача 1. Какие из следующих предложений являются высказываниями:

а) Москва – столица России;

б) студент института;

в) 27-39+5;

г) Луна – спутник Марса.

Задача 2. Пусть А означает: «число а делится на число в», В означает: «число а делится на число с» и С означает: «число а делится на произведение чисел в и с». Сформулировать предложения, записанные в виде формул:

а) $A \wedge \overline{B}$;

б) $\overline{A \wedge B}$;

в) $A \vee B \rightarrow \overline{C}$

Задача 3. Построить таблицу истинности для следующей формулы: $(A \wedge \overline{B}) \vee (B \rightarrow \overline{A})$.

Задача 4. Доказать равносильность высказываний $A \rightarrow B$ и $A \wedge B \vee \overline{A}$.

Задача 5. Пусть А означает: «идет дождь», а В означает: «дует ветер». Записать в символической форме высказывания:

а) если дует ветер, то идет дождь;

б) ветер дует тогда и только тогда, когда идет дождь;

в) неверно, что ветер дует тогда и только тогда, когда идет дождь.

Задача 6. Докажите, что следующее высказывание является тождественно-истинным: $(A \wedge (A \rightarrow B)) \rightarrow B$.

4. Тесты для самоконтроля

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 А получается высказывание $\overline{A}$, которое считается истинным, если А ложно, и ложным, если А 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

6. Какая логическая операция в формулах предшествует всем остальным?

а) дизъюнкция
б) конъюнкция
в) отрицание
г) импликация
д) двойная импликация

Практическое занятие 2
Тема: Элементы теории вероятностей
Цель: освоение вероятностных и математико-статистических понятий, необходимых при определении надежности технических систем и анализе техногенного риска
Форма проведения занятия – упражнения

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §1.4 главы 1 учебного пособия [1].

Наблюдаемые нами события (явления) можно подразделить на следующие три вида: достоверные, невозможные и случайные.

Случайным называют событие, которое при осуществлении совокупности условий может либо произойти, либо не произойти.

В свою очередь случайные события подвергаются некоторой классификации, т.е. бывают нескольких видов.

События называют несовместными, если появление одного из них исключает появление других событий в одном и том же испытании.

Несколько событий образуют полную группу, если в результате испытания появится хотя бы одно из них.

События называются равновозможными, если есть основание считать, что ни одно из них не является более возможным, чем другое.

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

$$P(A) = m/n, \tag{1}$$

где m – число элементарных исходов, благоприятствующих А;

n - число всех возможных элементарных исходов испытания.

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

$$P(A+B) = P(A) + P(B) \tag{2}$$

Теорема. Сумма вероятностей противоположных событий равна единице:

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1 \tag{3}$$

Условной вероятностью $P_A(B)$ называю вероятность события В, вычисленную в предположении, что событие А уже наступило.

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

$$P(AB) = P(A) \cdot P_A(B) \tag{4}$$

$$\text{или}\quad P(AB) = P(B) \cdot P_B(B) \qquad (5)$$

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

$$P(A+B) = P(A) + P(B) - P(AB) \qquad (6)$$

Пусть событие A может наступить при условии появления одного из несовместных событий $B_1, B_2, \ldots, B_n$, которые образуют полную группу. Пусть известны вероятности этих событий и условные вероятности $P_{B1}(A), P_{B2}(A), \ldots, P_{Bn}(A)$ события A.

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

$$P(A) = P(B_1) \cdot P_{B1}(A) + P(B_2) \cdot P_{B2}(A) + \ldots + P(B_n) \cdot P_{Bn}(A) \qquad (7)$$

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. Набирая номер телефона, абонент забыл одну цифру и набрал ее наудачу. Найти вероятность того, что набрана нужная цифра.

Решение

Пусть событие A – набрана нужная цифра. Абонент мог набрать любую из 10 цифр, поэтому общее число элементарных исходов равно 10 ($n=10$). Эти исходы несовместны, равновозможны и образуют полную группу. Благоприятствует событию A лишь один исход ($m=1$), т.к. нужна цифра только одна. Воспользуемся формулой (1)

$P(A) = m/n=1/10=0{,}1$

Задача 2. В урне 30 шаров: 10 красных, 5 синих, 15 белых. Найти вероятность появления цветного шара.

Решение

Появление цветного шара означает появление либо красного, либо синего шара.

Вероятность появления красного шара (событие A) найдем с помощью формулы (1)

$P(A) = m/n=10/30=1/3$

Вероятность появления синего шара (событие B) найдем с помощью формулы (1)

$P(B) = m/n=5/30=1/6$

Искомую вероятность появления цветного шара рассчитаем, используя теорему сложения вероятностей несовместных событий, по формуле (2)

$P(A+B) = P(A) + P(B)= 1/3+1/6= 1/2$

Задача 3. В урне 3 белых и 3 черных шара. Из урны дважды вынимают по одному шару, не возвращая их обратно. Найти вероятность появления белого шара при втором испытании, если при первом испытании был извлечен черный шар.

Решение

Событие А – при первом испытании извлечен черный шар. Событие В – при втором испытании извлечен белый шар. Поскольку из урны вынимают шары, не возвращая их обратно, то речь идет об условной вероятности. После первого испытания в урне осталось 5 шаров, из них 3 белых. Следовательно, исходя из определения условной вероятности, искомая условная вероятность события В равна

$P_A(B)= 3/5$

Задача 4. У сборщика имеется 3 конусных и 7 эллиптических валиков. Сборщик взял один валик, а затем второй. Найти вероятность того, что первый из взятых валиков – конусный, а второй – эллиптический.

Решение

Вероятность того, что первый валик окажется конусным (событие А) вычислим по формуле (1)

$P(A) = m/n=3/10$

Вероятность того, что второй валик окажется эллиптическим (событие В) вычисляем в предположении того, что первый взятый валик конусный, т.е. определяем условную вероятность события

$P_A(B)= 7/9$

По теореме умножения вероятностей, используя формулу (4), находим искомую вероятность

$P(AB) = P(A) \cdot P_A(B)=3/10\cdot 7/9=7/30$

Задача 5. Вероятность попадания в цель при стрельбе первого и второго орудий соответственно равны 0,7 и 0,8. Найти вероятность попадания при одном залпе (из обоих орудий) хотя бы одного из орудий.

Решение

Событие А - попадания в цель при стрельбе первого орудия, событие В - попадания в цель при стрельбе второго орудия. Вероятность события А равна $P(A) =0{,}7$, вероятность события В равна $P(B) =0{,}8$. События являются совместными. Вероятность появления хотя бы одного из двух совместных событий определяем по формуле (6)

$P(A+B) = P(A) + P(B) – P(AB)$

$P(AB)$ – вероятность совместного проявления событий. Поскольку события являются независимыми то

$P(AB)= P(A) \cdot P(B)= 0{,}7\cdot 0{,}8=0{,}56$

$P(A+B) =0{,}7+0{,}8-0{,}56=0{,}94$

3. Практические задания

Задача 1. Брошены две игральные кости. Найти вероятность того, что сумма выпавших очков равна 4.

Задача 2. Брошены две игральные кости. Найти вероятность того, что сумма очков на выпавших гранях – четная, причем на грани хотя бы одной из костей появится шестерка.

Задача 3. В урне 25 шаров: 12 красных, 3 синих, 10 белых. Найти вероятность появления цветного шара.

Задача 4. Институт получает пакеты с контрольными работами из городов А, В и С. Вероятность получения пакета из города А равна 0,7, из города В – 0,2. Найти вероятность того, что очередной пакет будет получен из города С.

Задача 5. У сборщика имеется 6 конусных и 4 эллиптических валиков. Сборщик взял один валик, а затем второй. Найти вероятность того, что первый из взятых валиков – конусный, а второй – эллиптический.

Задача 6. В урне 5 белых, 4 черных и 3 синих шара. Каждое испытание состоит в том, что наудачу извлекают один шар, не возвращая его обратно. Найти вероятность того, что при первом испытании появится белый шар, при втором – черный, при третьем – синий.

Задача 7. Имеется 3 ящика, содержащих по 10 деталей. В первом ящике 8, во втором 7, в третьем 9 стандартных деталей. Из каждого ящика наудачу вынимают по одной детали. Найти вероятность того, что все три вынутые детали окажутся стандартными.

Задача 8. Вероятность попадания в цель при стрельбе первого и второго орудий соответственно равны 0,6 и 0,9. Найти вероятность попадания при одном залпе (из обоих орудий) хотя бы одного из орудий.

Задача 9. Имеется два набора деталей. Вероятность того, что деталь первого набора стандартная равна 0,8, а второго – 0,9. Найти вероятность того, что взятая наудачу деталь (из наудачу взятого набора) – стандартная.

4. Тесты для самоконтроля

1. Как называются события, которые при осуществлении совокупности условий могут либо произойти, либо не произойти?

   а) невозможными
   б) случайными
   в) достоверными
   г) несовместными
   д) равновозможными

2. Как называются события, которые заведомо не произойдут, если будет осуществлена совокупность условий

   а) невозможными

б) случайными

в) достоверными

г) несовместными

д) равновозможными

3. 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

4. Как звучит теорема умножения 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 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 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

Практическое занятие 3
Тема: Надежность оперативного персонала сложных технических систем
Цель: научиться определять ошибки операторов при управлении сложными системами
Форма проведения занятия – семинар

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к семинару рекомендуется изучение §2.1, 2.2 главы 2 [1], §1.2, 1.3 главы 1 [2], §2.1, 2.2 главы 2 [3] и §3.1, 3.2 главы 3 [3], главу 14 [4].

Система – совокупность взаимосвязанных элементов, обособленная от среды и взаимодействующая с ней как целое. Система ЧМС – организация, составными частями которой являются люди и машины, работающие для достижения общей цели и связанные друг с другом сетью коммуникаций. Основные структурные элементы системы ЧМС: человек (субъект управления) и машина (объект управления). При этом человек удален от машины и взаимодействует с ней через некоторого посредника – человеко-машинный интерфейс (ЧМИ), выполняющий интеллектуальную составляющую системы.

Важно знать, что надежность и качество функционирования – свойства, отражающие тот факт, что оператор действовал безотказно (надежно, бесперебойно) и хорошо (качественно, оптимально), а эффективность - результирующее свойство, свидетельствующее, что оператор достиг цели и работал не зря. Надежность оператора характеризуется показателями: безотказность, безошибочность, своевременность, готовность, восстанавливаемость.

Как показывает статистика, основными причинами ошибочных действий персонала являются: неудовлетворительная подготовка или недостаточная квалификация персонала; неудовлетворительные условия работы и недостатки компоновки рабочих мест; неудовлетворительное техническое оснащение и организация рабочих мест.

2. Вопросы к семинарскому занятию

1. Что понимают под системой?

2. Сущность моделей состава системы, структуры системы, структурной схемы системы.

3. Основные особенности системы «человек – машина – среда».

4. Человек-оператор как звено сложной системы «человек – машина – среда».

5. Основные понятия и определения надежности оперативного персонала.

6. Понятия отказа и ошибки персонала.

7. Статистика ошибок оперативного персонала.

8. Классификация ошибок оперативного персонала.

3. Литература

1. Волкова В.Н. Теория систем и системный анализ: учеб./В.Н. Волкова: авт. Денисов А.А. – М.: Юрайт. 2010.- 680 с. [2].
2. Антонов А.В. Системный анализ: учеб./А.В. Антонов. – М.: Высш. шк., 2008. – 453 с. [3].
3. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / В.Ф. Воскобоев. – Москва: Альянс. Ч.1: Надежность технических систем – 2014. – 200 с. [4].
4. Евдокимова Н.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие/ Н.А. Евдокимова; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2004. – 146 с. [1].

4. Вопросы для самоконтроля

1. Назовите компоненты моделей состава системы, структуры системы и структурной схемы системы.
2. Раскройте ключевые моменты, характеризующие системы ЧМС.
3. Перечислите основные категории операторов.
4. Что Вы понимаете под «человеко-машинным интерфейсом»?
5. Какими показателями характеризуется надежность оператора и раскройте их понятие?
6. Дайте определение понятиям «отказ» и «ошибка оператора».
7. К каким последствиям могут привести ошибки операторов при управлении сложными системами?
8. По каким признакам классифицируются ошибки операторов сложных систем?

Практическое занятие 4

Тема: Определение показателей надежности по статическим данным об отказах изделия

Цель: освоение методики определения показателей надежности на основании статистических данных

Форма проведения занятия – упражнения

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §3.1 главы 3 учебного пособия [1].

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, ремонтопригодность и сохраняемость.

Безотказность (или надежность в узком смысле слова) – свойство непрерывно сохранять работоспособность в течение заданного времени или наработки.

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

Ремонтопригодность – свойство изделий приспосабливаться к предупреждению, обнаружению и устранению отказов путем технического обслуживания и ремонтов.

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

Показатели безотказности: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частота отказов, интенсивность отказов, средняя наработка до отказа.

Показатели долговечности: технический ресурс, срок службы.

Показатели ремонтопригодности: вероятность восстановления в заданное время, средняя продолжительность восстановления.

Показатели сохраняемости: средний срок сохраняемости, гамма-процентный срок сохраняемости.

Комплексные показатели надежности: коэффициент готовности, коэффициент технического использования.

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

$$P(t) = \frac{n_o - n(t)}{n_o}, \tag{8}$$

где n_o - число подконтрольных изделий, т.е. общее число изделий, за которыми ведется наблюдение;

n(t) - число изделий, у которых в интервале времени (о, t) произошел отказ.

Статистическая оценка вероятности отказа:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \frac{n_o - n(t)}{n_o} = \frac{n(t)}{n_o}. \tag{9}$$

Статистическая оценка частоты отказов:

$$f(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{n_o \Delta t} = \frac{n(\Delta t)}{n_o \Delta t} \quad \text{или} \quad f(t) = \frac{\Delta Q(t)}{\Delta t}, \tag{10}$$

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

n(Δt) – число отказавших изделий в интервале времени Δt;

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

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

$$\lambda(t)=\frac{n(t+\Delta t)-n(t)}{(n_o\cdot n(t))\cdot\Delta t}\quad\text{или}\quad\lambda(t)=\frac{n(\Delta t)}{n_{ср}\cdot\Delta t},\tag{11}$$

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

Средняя наработка до отказа $T_{ср}$ – средне значение наработки изделий (в совокупности) до отказа:

$$T_{ср}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}T_{i,}\tag{12}$$

где T_i – наработка i-го изделия до отказа;

n – количество изделий.

Если в период нормальной эксплуатации вероятность безотказной работы подчиняется эксплуатационному закону, то $P(t) = e^{-\lambda t}$; $\lambda(t) = \lambda = const$; $T = 1/\lambda$; T – наработка изделия до отказа.

Статистическая оценка параметра потока отказов:

$$W(t)=\frac{n(t+\Delta t)-n(t)}{N\cdot\Delta t}=\frac{n(\Delta t)}{N\cdot\Delta t},\tag{13}$$

где N – число испытываемых изделий в интервале времени Δt.

Исходной информацией для расчета показателей долговечности деталей являются данные их обмера, выполненного во время технического обслуживания и ремонтов. Скорость изнашивания деталей:

$$U_i=\frac{|S_к-S_н|}{t_i},\tag{14}$$

где $S_к$ и $S_н$ – конечный и начальный размеры детали по поясам максимальных износов;

t_i – наработка между замерами.

Технический ресурс детали при неизменности условий эксплуатации машины или механизма:

$$T_i = A / U_i,\tag{15}$$

где A – предельно-допустимый износ детали.

Коэффициент готовности может определяться:

$$К_г=\frac{t_р}{t_р+t_в},\tag{16}$$

где $t_р = \sum t_{рi}$ – суммарная наработка всех подконтрольных объектов;

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

Время восстановления $t_в$ позволяет определить и средне время восстановления работоспособного состояния $Т_В$, которое является характеристикой ремонтопригодности. $Т_В$ – математическое ожидание времени восстановления изделия. Статистическая оценка этой величины:

$$T_B = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} t_{вi}, \tag{17}$$

где N – количество отказов, после которых объект восстанавливается.

Коэффициент технического использования определяется:

$$К_{ТИ} = \frac{t_p}{\left(t_p + \sum\left(t_{ТО_i} + t_{ТР_i}\right)\right)}, \tag{18}$$

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

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. При наблюдении за 12-ю форсунками двигателя внутреннего сгорания выявилось, что за 320 ч работы 4 форсунки вышли из строя. Найти вероятность безотказной работы и вероятность отказа.

Решение

Вероятности безотказной работы P(t) определяем по формуле (8)

$$P(t) = \frac{n_o - n(t)}{n_o},$$

где n_o=12 - число подконтрольных изделий;

n(t)=4 - число изделий, у которых в интервале времени 320 ч произошел отказ.

$$P(t)=\frac{12-4}{12}=0{,}667$$

Вероятность отказа Q(t) определяем по формуле (9)

$$Q(t)=1- P(t)=1-0{,}667=0{,}333$$

Задача 2. К условиям первой задачи добавить информацию: после 320 ч работы за 40 ч вышли из строя еще 2 форсунки. Найти частоту и интенсивность отказов.

Решение

Частоту отказов f(t) определяем по формуле (10)

$$f(t)=\frac{n(\Delta t)}{n_0 \cdot \Delta t}.$$

n(Δt)=2 – число отказавших изделий в интервале времени 40 ч;

n_o=12 - число подконтрольных изделий;

Δt=40 ч – рассматриваемый интервал времени.

$f(t)=\frac{2}{12\cdot 40}=4,167\cdot 10^{-3}$ (1/ч)

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ определяем по формуле (11)

$$\lambda(t)=\frac{n(\Delta t)}{n_{ср}\cdot\Delta t},$$

где $n_{ср}$ – среднее число исправно работающих объектов в интервале времени Δt=40 ч; $n_{ср}$=(8+6)/2=7

$\lambda(t)=\frac{2}{7\cdot 40}=7,143\cdot 10^{-3}$ (1/ч)

Задача 3. Были проведены наблюдения за 5-ю форсунками двигателя внутреннего сгорания, интенсивности отказа которых $3,571\cdot 10^{-3}$ 1/ч; $2,778\cdot 10^{-3}$ 1/ч; $1,149\cdot 10^{-3}$ 1/ч; $0,98\cdot 10^{-3}$ 1/ч; $2,174\cdot 10^{-3}$ 1/ч. Найти среднюю наработку до отказа.

Решение

Среднюю наработку изделия до отказа $T_{ср}$ определим по формуле (12)

$$T_{ср}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}T_{i},$$

где T_i – наработка i-го изделия до отказа;

n=5 – количество изделий.

Для определения наработка i-го изделия до отказа воспользуемся формулой

$T_i=1/\lambda_i$,

где λ_i - интенсивности отказа i-го изделия.

T_1= $1/3,571\cdot 10^{-3}$=280 (ч)

T_2= $1/2,778\cdot 10^{-3}$ =360 (ч)

T_3= $1/1,149\cdot 10^{-3}$ =870 (ч)

T_4= $1/0,98\cdot 10^{-3}$=1020 (ч)

T_5= $1/2,174\cdot 10^{-3}$ =460 (ч)

Средняя наработка изделия до отказа

$T_{ср}=\frac{1}{5}(280+360+870+1020+460)=598$ (ч)

Задача 4. При испытаниях двигателя автомобиля контролировали наружные диаметры компрессионных колец поршней цилиндров. Начальный диаметр колец составлял 70 мм. По истечении 3000 ч были измерены диаметры 4 колец. Получили следующие значения: 69,60 мм; 69,65 мм; 69,62 мм; 69,68 мм. Величина предельно-допустимого износа колей составляет 0,1 мм. Определить средний технический ресурс работы компрессионных колец.

Решение

Технический ресурс компрессионных колец определим по формуле (15)

$T_i = A / U_i$

где A=0,1 – предельно-допустимый износ детали;

U_i - скорость изнашивания компрессионных колец, которую можно рассчитать по формуле (14)

$$U_i = \frac{|S_к - S_н|}{t_i},$$

где $S_к$ и $S_н$ – конечный и начальный размеры компрессионных колец по поясам максимальных износов;

t_i=3000 ч – наработка между замерами.

$U_1=\frac{70-69,60}{3000}$=0,00013 (мм/ч)

$U_2=\frac{70-69,65}{3000}$=0,00034 (мм/ч)

$U_3=\frac{70-69,62}{3000}$=0,00046 (мм/ч)

$U_4=\frac{70-69,68}{3000}$=0,00011 (мм/ч)

Технический ресурс компрессионных колец

T_1 =0,1/0,00013=769 (ч)

T_2 =0,1/0,00034=294 (ч)

T_3 =0,1/0,00046=217 (ч)

T_4 =0,1/0,00011=909 (ч)

Средний технический ресурс определим по формуле

$T_{ср} = \frac{1}{N}\sum T_i,$

где N=4 – количество компрессионных колец

$T_{ср} = \frac{1}{4}(769+294+217+909)=547$ (ч)

3. Практические задания

Задача 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.

Задача 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.

Задача 3. На испытание поставлено 400 изделий. За время работы 3000 ч отказало 200 изделий. За последующий интервал времени 100 ч отказало еще 100 изделий. Требуется определить вероятность безотказной работы за время работы 3000 ч, 3100 ч, частоту и интенсивность отказов.

Задача 4. На испытание поставлено 6 однотипных изделий. Время безотказной работы первого изделия составило 280 ч, второго – 350 ч, третьего – 400 ч, четвертого – 320 ч, пятого – 380 ч, шестого – 330 ч. Определить среднюю наработку до отказа изделия.

Задача 5. 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.

Задача 6. При испытаниях двигателя автомобиля контролировали наружные диаметры компрессионных колец поршней цилиндров. Начальный диаметр колец 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 колей составляет 0,1 мм. Определить средний технический ресурс работы компрессионных колец.

Задача 7. 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.

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

4. Тесты для самоконтроля

1. 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) ремонтопригодность
б) безотказность
в) долговечность
г) надежность
д) сохраняемость

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

а) ремонтопригодность
б) безотказность
в) долговечность
г) надежность
д) сохраняемость

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

а) ремонтопригодность

б) безотказность

в) долговечность

г) надежность

д) сохраняемость

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

а) ремонтопригодность

б) безотказность

в) долговечность

г) надежность

д) сохраняемость

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

а) ремонтопригодность

б) безотказность

в) долговечность

г) надежность

д) сохраняемость

5. Предельное состояние это

а) событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта

б) наработка изделия между восстановлением его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа

в) событие, заключающееся в нарушении исправного состояния изделия, но сохраняющее его работоспособность

г) состояние, при котором дальнейшая эксплуатация изделия должна быть прекращена

д) наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа

Практическое занятие 5

Тема: Аналитическое определение количественных характеристик надежности изделия

Цель: освоение методики аналитического определения показателей надежности

Форма проведения занятия – упражнения

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §3.1 главы 3 учебного пособия [1].

Существуют различные законы распределения случайных величин (экспоненциальный, нормальный, Вейбулла и др.). Каждый из них характеризуется своими формулами для расчета характеристик распределения, которые в свою очередь, позволяют найти интересующие нас показатели надежности.

При расчетах надежности экспоненциальное распределение используют гораздо чаще, чем оно фактически имеет место. Это связано с его сравнительной математической простотой. Его целесообразно использовать при сравнительной оценке надежности нескольких вариантов схем проектируемых механизмов и устройств, а также при предварительной расчетной оценке их безотказности.

Во многих случаях можно принимать нормальное распределение наработки до отказа у механизмов, работа которых зависит от большого числа случайных конструктивно-технологических факторов.

При экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы ($\lambda(t) = \lambda = const$) показатели безотказности примут следующий вид. Вероятность безотказной работы P(t):

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (19)$$

Вероятность отказа Q(t):

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (20)$$

Частота отказов f(t):

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}. \quad (21)$$

Интенсивности отказов λ(t):

$$\lambda(t) = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda. \quad (22)$$

Средняя наработка до отказа $T_{ср}$:

$$T_{ср} = 1/\lambda. \quad (23)$$

При нормальном законе распределения времени безотказной работы показатели безотказности примут следующий вид. Вероятность безотказной работы P(t):

$$P(t) = 0{,}5 - \Phi(Z), \quad (24)$$

где Ф(Z) – функция Лапласа, значения которой приведены в приложении 2 [5] и обладающая свойствами: Ф(0)=0, Ф(-Z)=-Ф(Z), Ф(∞)=0,5.

$$Z = \frac{t - T_{ср}}{\sigma}, \quad (25)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение времени безотказной работы.

Вероятность отказа Q(t):

$$Q(t)=0{,}5+\Phi(Z). \qquad (26)$$

Частота отказов f(t):

$$f(t)=\frac{\varphi(Z)}{\sigma}, \qquad (27)$$

где φ(Z) - функция, значения которой приведены в приложении 1 [5].

Интенсивности отказов λ(t):

$$\lambda(t)=\frac{\varphi(Z)}{\sigma}\cdot\frac{1}{0{,}5-\Phi(Z)}=\frac{f(t)}{P(t)}. \qquad (28)$$

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. Время работы элемента до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с интенсивностью отказов $\lambda=2{,}5\cdot10^{-5}$ 1/ч. Требуется вычислить количественные характеристики надежности работы элемента: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частоту отказов и среднюю наработку до отказа для t=1000 ч.

Решение

Для определения вероятности безотказной работы используем формулу (19)

$P(t)=e^{-\lambda t}=e^{-2{,}5\cdot10^{-5}\cdot1000}=0{,}9753$

Для определения вероятности отказа используем формулу (20)

$Q(t)=1-e^{-\lambda t}=1-e^{-2{,}5\cdot10^{-5}\cdot1000}=0{,}0247$

Для определения частоты отказов используем формулу (21)

$f(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda t}=2{,}5\cdot10^{-5}\cdot e^{-2{,}5\cdot10^{-5}\cdot1000}=2{,}439\cdot10^{-5}$ (1/ч)

Для определения средней наработки до отказа используем формулу (23)

$T_{ср}=1/\lambda=1/2{,}5\cdot10^{-5}=40000$ (ч)

Задача 2. Средняя наработка до отказа автоматической системы управления равна $T_{ср}=640$ ч. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Необходимо определить вероятность безотказной работы в течение t=120 ч, частоту отказов для момента времени t=120 ч и интенсивность отказов.

Решение

Интенсивности отказов выразим из формулы (23), которая предназначена для определения средней наработки до отказа

$\lambda(t)=1/T_{ср}=1/640=1{,}6\cdot10^{-3}$ (1/ч)

Для определения вероятности безотказной работы используем формулу (19)

$P(t)=e^{-\lambda t}=e^{-1{,}6\cdot10^{-3}\cdot120}=0{,}8290$

Для определения частоты отказов используем формулу (21)

$f(t)=\lambda\cdot e^{-\lambda t}=1{,}6\cdot10^{-3}\cdot e^{-1{,}6\cdot10^{-3}\cdot120}=1{,}139\cdot10^{-3}$ (1/ч)

Задача 3. Время работы элемента до отказа подчинено нормальному закону с параметрами: средняя наработка до отказа $T_{ср}$ =8000 ч, среднее квадратическое отклонение времени безотказной работы σ=2000 ч. Требуется вычислить для t=10000 ч количественные характеристики надежности: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частоту отказов, интенсивность отказов.

Решение

Для определения вероятности безотказной работы используем формулу (24)

$P(t)=0,5-Ф(Z)$,

где Ф(Z) – функция Лапласа, значения которой находим из приложения 2 [5].

Для определения Z используем формулу (25)

$Z=\frac{t-T_{cp}}{\sigma}=\frac{10000-8000}{2000}=1$

$Ф(Z)= Ф(1)=0,3413$

$P(t)=0,5-Ф(Z)=0,5-0,3413=0,1587$

Для определения вероятности отказа используем формулу (26)

$Q(t)=0,5+ Ф(Z)=0,5+0,3413=0,8413$

Для определения частоты отказов используем формулу (27)

$f(t)=\frac{\varphi(Z)}{\sigma}$,

где φ(Z) - функция, значения которой находим из приложения 1 [5].

$\varphi(Z)= \varphi(1)=0,242$

$f(t)=\frac{\varphi(Z)}{\sigma}=\frac{0,242}{2000}=12,1\cdot10^{-5}$ (1/ч)

Для определения интенсивности отказов используем формулу (28)

$\lambda(t)= \frac{\varphi(Z)}{\sigma}\cdot\frac{1}{0,5-Ф(Z)}=\frac{f(t)}{P(t)}=\frac{12,1\cdot10^{-5}}{0,1587} =76,4\cdot10^{-5}$ (1/ч)

Задача 4. Определить вероятность безотказной работы и интенсивность отказов прибора при t=1300 ч работы, если при испытаниях получены значения средней наработки до отказа $T_{ср}$ =1500 ч и среднего квадратического отклонения времени безотказной работы σ=100 ч.

Решение

Для определения вероятности безотказной работы используем формулу (24)

$P(t)=0,5-Ф(Z)$,

где Ф(Z) – функция Лапласа, значения которой находим из приложения 2 [5].

Для определения Z используем формулу (25)

$Z=\frac{t-T_{cp}}{\sigma}=\frac{1300-1500}{100}=-2$

$Ф(Z)= Ф(-2)= -Ф(2)=-0,4772$

P(t)=0,5-Ф(Z)=0,5+ 0,4772=0,9772

Прежде чем определить интенсивность отказов нам потребуется рассчитать частоту отказов, для чего используем формулу (27)

$f(t)=\frac{\varphi(Z)}{\sigma}$,

где φ(Z) - функция, значения которой находим из приложения 1 [5].

φ(Z)= φ(-2)= φ(2)=0,0540

$f(t)=\frac{\varphi(Z)}{\sigma}=\frac{0,0540}{100}=0,54\cdot10^{-3}$ (1/ч)

Для определения интенсивности отказов используем формулу (28)

$\lambda(t)=\frac{\varphi(Z)}{\sigma}\cdot\frac{1}{0,5-\Phi(Z)}=\frac{f(t)}{P(t)}=\frac{0,54\cdot10^{-3}}{0,9772}=0,56\cdot10^{-3}$ (1/ч)

3. Практические задания

Задача 1. Время работы элемента до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с интенсивностью отказов $1,8\cdot10^{-5}$ 1/ч. Требуется вычислить количественные характеристики надежности работы элемента: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частоту отказов и среднюю наработку до отказа для t=2000 ч.

Задача 2. Вероятность безотказной работы автоматической линии изготовления цилиндров автомобильного двигателя в течение 120 ч равна 0,9. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется рассчитать интенсивность отказов и частоту отказов линии для момента времени 120 ч, а также среднюю наработку до отказа.

Задача 3. Средняя наработка до отказа автоматической системы управления равна 570 ч. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Необходимо определить вероятность безотказной работы в течение 100 ч, частоту отказов для момента времени 100 ч и интенсивность отказов.

Задача 4. Время работы элемента до отказа подчинено нормальному закону с параметрами: средняя наработка до отказа 6000 ч, среднее квадратическое отклонение времени безотказной работы 1800 ч. Требуется вычислить для t=12000 ч количественные характеристики надежности: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частоту отказов, интенсивность отказов.

Задача 5. Определить вероятность безотказной работы и интенсивность отказов прибора при t=1500 ч работы, если при испытаниях получены значения средней наработки до отказа 1700 ч и среднего квадратического отклонения времени безотказной работы 90 ч.

4. Тесты для самоконтроля

1. Какое свойство надежности характеризуют показатели: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, интенсивность отказов, частота отказов?

а) ремонтопригодность

б) сохраняемость
в) долговечность
г) безотказность
д) работоспособное состояние

2. Какое свойство надежности характеризуют показатели: технический ресурс и срок службы?
а) ремонтопригодность
б) сохраняемость
в) долговечность
г) безотказность
д) работоспособное состояние

3. Какое свойство надежности характеризуют показатели: вероятность восстановления в заданное время и средняя продолжительность восстановления?
а) ремонтопригодность
б) сохраняемость
в) долговечность
г) безотказность
д) работоспособное состояние

4. Какое свойство надежности характеризуют показатели: средний срок сохраняемости и гамма-процентный срок сохраняемости?
а) ремонтопригодность
б) сохраняемость
в) долговечность
г) безотказность
д) работоспособное состояние

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

Практическое занятие 6, 7

Тема: Статистическая обработка данных испытания изделий: проверка качества исходных данных

Цель: освоение методики статистической обработки данных испытания изделий, методики проверки качества исходных данных с помощью различных критериев

Форма проведения занятия – упражнения

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §3.4 главы 3 учебного пособия [1].

Для определения показателей надежности применяют следующие характеристики случайных величин:

1. Математическое ожидание M(X). Т.к. число членов выборки N всегда конечно, в качестве оценки математического ожидания принимается среднеарифметическое значение $X_{ср}$:

$$M(X) = X_{ср} = \sum x_i / N, \tag{29}$$

где x_i - значения случайной величины;

N – объем выборки.

2. Дисперсия D(X):

$$D(X) = \frac{\sum (X_i - X_{ср})^2}{N-1} = \frac{\sum X_i^2 - N \cdot X_{ср}^2}{N-1}. \tag{30}$$

3. Среднее квадратическое отклонение S_x:

$$S_x = \sqrt{D(X)}. \tag{31}$$

4. Коэффициент вариации (используют для оценки рассеяния с помощью безразмерной (относительной) величины) V_x:

$$V_x = \frac{S_x}{X_{ср}}. \tag{32}$$

После получения (составления) сводки исходных данных об испытаниях изделия 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 чаще используют критерий Романовского, Ирвина, Груббса и рекомендации ОСТ 15-227-79.

1. Критерий Романовского. Вычисляют среднеарифметическое значение $X_{ср}$ и среднее квадратическое 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 (см. табл. 3.2 [1]) 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.

Выделяющееся значение оценивают через функцию:

$$t = \left|(X_{ср} - X_i)\right| / S_x. \qquad (33)$$

Если $t > t_\alpha$, то с выбранной вероятностью P значение X_i можно исключить из выборки; если $t \le t_\alpha$ - то X_i остается в выборке.

2. Критерий Ирвина. В отличие от критерия Романовского расчеты $X_{ср}$ и S_x ведут по всем статистическим данным упорядоченного вариационного ряда, после чего оценивают выделяющееся значение через функцию:

$$\lambda = \left|(X_{n+1} - X_n)\right| / S_x, \qquad (34)$$

где в числителе разность максимального значения и предыдущего или минимального и последующего случайной величины. Затем по специальной таблице выбирают λ_p в зависимости от уровня достоверности P и N (см. табл. 3.3 [1]).

Если расчетное значение $\lambda > \lambda_p$, то анализируемая величина остается в совокупности, если $\lambda \le \lambda_p$, то исключается.

3. Критерий Груббса. Для проверки спорного крайнего члена выборки вычисляют значение

$$v = \frac{\left|X_i - X_{ср}\right|}{S_x}, \qquad (35)$$

где X_i – минимальное или максимальное значение случайной величины. Расчет $X_{ср}$ и S_x ведут по всем статистическим данным. Затем по специальной таблице (см. табл. 3.4 [1]) выбирают v_α в зависимости от принятого уровня значимости α и N.

Если $v \le v_\alpha$, то анализируемая величина остается, если $v > v_\alpha$, то анализируемая величина исключается из совокупности.

Рассмотренные критерии требуют вычисления $X_{ср}$ и S_x, величина которых может изменяться в зависимости от принятого решения об отбрасывании проверяемого члена. В связи с этим целесообразно воспользоваться следующими рекомендациями ОСТ 15-227-79 при оценке сомнительных значений:

а) Отбрасывание крайних членов. Принят следующий порядок:

- значения случайной величины располагают в порядке возрастания и выбираются крайние (максимальный X_N и минимальный X_1) члены выборки;
- определяются отношения $a_а$ и $a_б$ в соответствии с принятой гипотезой из таблицы 1;
- для обоих уровней достоверности (0,95 и 0,99) определяют табличные значения контрольных критериев $a_а^т, a_б^т$ (табл.3.6 [1]);
- сравнивается полученное по формуле (из табл. 1) значение величины $a_а$ или $a_б$ с табличными значениями $a_а^т$ или $a_б^т$ для обоих уровней достоверности (из табл. 3.6 [1]).

б) Оценка правильности принятой гипотезы производится, исходя из следующего:

- если вычисленное отношение $a_а$ или $a_б$ больше табличного $a_а^т$ или $a_б^т$ при уровне достоверности 0,99, то гипотеза принимается, т.е. проверяемое значение отбрасывается и в дальнейших расчетах не учитывается;
- если вычислительное отношение $a_а$ или $a_б$ меньше табличного $a_а^т$ или $a_б^т$ при уровне достоверности 0,95, то гипотеза не подтверждается и проверяемое значение оставляется для дальнейших расчетов;
- если вычисленное отношение $a_а$ или $a_б$ находится между табличными значениями $a_а^т$ или $a_б^т$ при уровне достоверности 0,99 и 0,95, то ситуация считается неопределенной и целесообразно проведение дополнительного сбора данных с целью увеличения числа N.

Таблица 1 - Гипотезы и расчетные формулы для проверки качества данных

Гипотеза	Формула для проверки
Отбрасывается наибольшее значение	$a_а = \dfrac{X_N - X_{N-1}}{X_N - X_1}$
Отбрасывается наименьше значение	$a_б = \dfrac{X_2 - X_1}{X_N - X_1}$

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. В ряде выборки 1,6; 0,1; 1,4; 1,8; 2,0 проверить с помощью критерия Романовского крайнее (минимальное) значение. Уровень достоверности принять равным 0,95.

Решение

Прежде чем применить для решения задачи критерий Романовского, необходимо вычислить среднеарифметическое значение $X_{ср}$ и среднее квадратическое значение S_x без учета проверяемого члена выборки X_i=0,1.

Для определения среднеарифметическое значение $X_{ср}$ используем формулу (29)

$X_{ср} = \sum x_i / N$,

где x_i - значения случайной величины;

N=4 – объем выборки

$X_{ср}$ =(1,6+1,4+1,8+2,0)/4=1,7

Для расчета дисперсии используем формулу (30)

$$D(X)=\frac{\sum x_i^2 - N\cdot x_{cp}^2}{N-1}=\frac{(1.6^2+1.4^2+1.8^2+2.0^2)-4\cdot 1.7^2}{4-1}=0{,}0667$$

Для расчета среднего квадратического значения используем формулу (31)

$S_x=\sqrt{D(X)}=\sqrt{0{,}0667}=0{,}258$

Поскольку уровень достоверности P=0,95, уровень значимости α=1–P=1-0,95=0,05. По табл. 3.2 [1] для N=5 и α=0,05 получаем t_α=3,04.

Рассчитываем по формуле (33) функцию

$t=|(X_{ср} - X_i)| / S_x= |(1{,}7-0{,}1)|/0{,}258=6{,}2$

Поскольку t=6,2> t_α=3,04, то X_i=0,1 исключаем из выборки.

Задача 2. В ряде выборке 3,1; 1,5; 4,2; 3,8; 4,6; 5,0; 5,2; 2,9; 3,5; 4,8 проверить с помощью критерия Ирвина минимальное значение. Уровень достоверности принять равным 0,99.

Решение

Прежде чем применить для решения задачи критерий Ирвина, расположим члены выборки в виде упорядоченного вариационного ряда:

1,5; 2,9; 3,1; 3,5; 3,8; 4,2; 4,6; 4,8; 5,0; 5,2

Затем необходимо вычислить среднеарифметическое значение $X_{ср}$ и среднее квадратическое значение S_x с учетом проверяемого члена выборки X_i=1,5.

Для определения среднеарифметическое значение $X_{ср}$ используем формулу (29)

$X_{ср} = \sum x_i / N$,

где x_i - значения случайной величины;

N=10 – объем выборки

$X_{ср}$ =(1,5+2,9+3,1+3,5+3,8+4,2+4,6+4,8+5,0+5,2)/10=3,86

Для расчета дисперсии используем формулу (30)

$$D(X)=\frac{\sum x_i^2 - N\cdot x_{cp}^2}{N-1}=\frac{(1{,}5^2+2{,}9^2+3{,}1^2+3{,}5^2+3{,}8^2+4{,}2^2+4{,}6^2+4{,}8^2+5{,}0^2+5{,}2^2)-10\cdot 3.86^2}{10-1}=1{,}316$$

Для расчета среднего квадратического значения используем формулу (31)

$S_x=\sqrt{D(X)}=\sqrt{1{,}316}=1{,}147$

По табл. 3.3 [1] для N=10 и P=0,99 получаем λ_p =2,0.

Рассчитываем по формуле (34) функцию

$\lambda = |(X_{n+1} - X_n)| / S_x$,

где в числителе разность максимального значения и предыдущего или минимального и последующего случайной величины.

$\lambda = |(1{,}5\text{-}2{,}9)|/1{,}147=1{,}22$

Поскольку λ =1,22< λ_p =2,0, то X_i=1,5 исключаем из выборки.

Задача 3. В ряде выборки 3,2; 3,0; 3,3; 3,1; 3,2; 4,0 проверить с помощью критерия Груббса максимальное значение. Уровень достоверности принять равным 0,95.

Решение

Прежде чем применить для решения задачи критерий Груббса, необходимо вычислить среднеарифметическое значение X_{cp} и среднее квадратическое значение S_x с учетом проверяемого члена выборки X_i=4,0.

Для определения среднеарифметическое значение X_{cp} используем формулу (29)

$X_{cp} = \sum x_i / N$,

где x_i - значения случайной величины;

N=6 – объем выборки

X_{cp} =(3,2+3,0+3,3+3,1+3,2+4,0)/6=3,3

Для расчета дисперсии используем формулу (30)

$$D(X)=\frac{\sum x_i^2-N\cdot x_{cp}^2}{N-1}=\frac{(3{,}2^2+3{,}0^2+3{,}3^2+3{,}1^2+3{,}2^2+4{,}0^2)-6\cdot 3.3^2}{6-1}=0{,}128$$

Для расчета среднего квадратического значения используем формулу (31)

$S_x=\sqrt{D(X)}=\sqrt{0{,}128}=0{,}358$

Поскольку уровень достоверности P=0,95, уровень значимости α=1–P=1-0,95=0,05. По табл. 3.4 [1] для N=6 и α=0,05 получаем v_α=1,99.

Рассчитываем по формуле (35) функцию

$$v = \frac{|X_i - X_{cp}|}{S_x},$$

где X_i =4,0 – максимальное значение случайной величины.

$v=|4\text{-}3{,}3|/0{,}358=1{,}96$

Поскольку v=1,96< v_α=1,99, то X_i=4,0 оставляем в выборке.

Задача 4. В ряде выборки 1,6; 0,1; 1,4; 1,8; 2,0 проверить с помощью рекомендаций ОСТ 15-227-79 минимальное значение.

Решение

Прежде всего, располагаем члены выборки в виде упорядоченного вариационного ряда: 0,1; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0.

Поскольку проверяем минимальное значение выборки x_1=0,1, то рассчитываем отношение $a_б$ из табл.1

$a_б=\frac{x_2-x_1}{x_N-x_1}$.

где x_1=0,1 – минимальное значение;

x_2=1,4 – второй член упорядоченного вариационного ряда;
x_N=2,0 – максимальное значение.
$a_б=\frac{1,4-0,1}{2,0-0,1}$=0,684
Для объема выборки N=5 и обоих уровней достоверности P=0,95 и P=0,99 определяем табличные значения контрольных критериев $a_б^т$ (табл.3.6 [1]). Для уровня достоверности P=0,95 $a_б^т$=0,642, для уровня достоверности P=0,99 $a_б^т$=0,780.
Поскольку $a_б^т$=0,642< $a_б$=0,648< $a_б^т$=0,780, то ситуация считается неопределенной и целесообразно проведение дополнительного сбора данных с целью увеличения объема выборки N.

3. Практические задания

Задача 1. В ряде выборки 1,4; 0,1; 1,1; 1,6; 2,1 проверить с помощью критерия Романовского крайнее (минимальное) значение. Уровень достоверности принять равным 0,95.

Задача 2. В ряде выборки 4,3; 4,7; 4,1; 4,5; 4,8; 7,0 проверить с помощью критерия Романовского крайнее (максимальное) значение. Уровень достоверности принять равным 0,98.

Задача 3. В ряде выборке 2,9; 1,1; 3,8; 3,6; 4,3; 4,9; 5,0; 3,2; 3,6; 4,7 проверить с помощью критерия Ирвина минимальное значение. Уровень достоверности принять равным 0,99.

Задача 4. В ряде выборке 7,1; 7,5; 7,2; 6,8; 6,6; 7,0; 11,2; 7,9; 6,5; 7,8 проверить с помощью критерия Ирвина максимальное значение. Уровень достоверности принять равным 0,95.

Задача 5. В ряде выборки 2,2; 2,0; 2,3; 2,1; 2,2; 3,0 проверить с помощью критерия Груббса максимальное значение. Уровень достоверности принять равным 0,95.

Задача 6. В ряде выборки 6,2; 6,0; 6,3; 6,1; 2,2; 6,0 проверить с помощью критерия Груббса минимальное значение. Уровень достоверности принять равным 0,99.

Задача 7. В ряде выборки 1,5; 0,1; 1,3; 1,7; 2,1 проверить с помощью рекомендаций ОСТ 15-227-79 минимальное значение.

Задача 8. В ряде выборки 7,1; 7,5; 7,2; 6,8; 6,6; 7,0; 11,2; 7,9; 6,5; 7,8 проверить с помощью рекомендаций ОСТ 15-227-79 максимальное значение.

4. Тесты для самоконтроля

1. 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

2. Как называется числовая характеристика случайной величины, которая равна среднему арифметическому наблюдаемых значений случайной величины?
а) плотность распределения вероятностей
б) среднее квадратическое отклонение
в) коэффициент вариации
г) математическое ожидание

3. Как называется критерий проверки качества исходных данных, полученных в результате испытания изделия, согласно которому среднеарифметическое значение и среднеквадратическое значение вычисляют без учета проверяемого члена выборки?
а) критерий Ирвина
б) критерий Романовского
в) критерий Груббса
г) критерий Холмогорова

4. Как называется критерий проверки качества исходных данных, полученных в результате испытания изделия, согласно которому среднеарифметическое значение и среднеквадратическое значение вычисляют по всем статистическим данным упорядоченного вариационного ряда?
а) критерий Ирвина
б) критерий Романовского
в) критерий Груббса
г) критерий Холмогорова

Практическое занятие 8, 9

Тема: Статистическая обработка данных испытания изделий: проверка качества аппроксимации эмпирического распределения теоретическим

Цель: освоение методики статистической обработки данных испытания изделий, методики проверки качества аппроксимации эмпирического распределения теоретическим

Форма проведения занятия – упражнения

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §3.4 главы 3 учебного пособия [1].

После построения эмпирического распределения переходят к аппроксимации эмпирической гистограммы, т.е. находят такой вид теоретического распределения, который наилучшим образом описывал бы наше эмпирическое распределение. На практике этот закон выбирается по внешнему виду гистограммы.

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.

Для проверки согласования эмпирического и теоретического (принимаемого) распределений чаще всего используют χ^2 критерий (Пирсона), как наиболее распространенный и один из наиболее жестких.

Схема применения критерия Пирсона:

- подсчитывают теоретическое число $n_i^т$ наблюдений (значений) в каждом интервале. Это делается по формулам проверяемого теоретического закона распределения. Эмпирическое число $n_i^с$ величин в интервале известно из статистических данных;

- определяется наблюдаемое значение критерия:

$$\chi^2_{набл} = \sum_i^m \frac{\left(n_i^с - n_i^т\right)^2}{n_i^т}, \tag{36}$$

где m – число интервалов;

- по таблице критических точек распределения χ^2 по заданному уровню значимости α и числу степеней свободы k определяют критическую точку $\chi^2_{кр}$ (приложение 5 [5]).

Пояснение: число степеней свободы находят по равенству $k = m - 1 - r$, где m - число групп (интервалов) выборки; r – число параметров предполагаемого распределения (для нормального r = 2, для экспоненциального r = 1, для закона Вейбулла r = 2). Уровнем значимости α называют вероятность совершить ошибку первого рода. Ошибка первого рода состоит в том, что будет отвергнута правильная гипотеза. Как правило, α принимают равным 0,05. Ошибка второго рода состоит в том, что будет принята неправильная гипотеза.

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

Если $\chi^2_{набл} \succ \chi^2_{кр}$ гипотезу отвергают.

Критерий согласия (Мизеса). Он особенно эффективен для $N \le 100$ (относительно малых) объемов выборки, но естественно, может быть применен и для N > 100. Для практического приложения этого критерия вычисляют произведение:

$$Nw^2 = \frac{1}{12 \cdot N} + \sum_{i=1}^{N} \left[P(x_i) - W(x_i)\right]^2, \qquad (37)$$

где N – число наблюдаемых объектов (объем выборки);

$P(x_i)$ – функция нормального распределения, вычисляемая по формуле

$$P(X) = 0{,}5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int e^{-z_i^2/2} dz. \qquad (38)$$

$\Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int e^{-z_i^2/2} dz$ – функция Лапласа, значения которой приведены в приложении 2 [5].

$W(x_i)$ – накопленная частота, $W(x_i) = \frac{i - 0{,}5}{N}$, где i – порядковый номер признака в вариационном ряду объема N.

Далее выписывают неравенство вида:

$Nw^2 \le Z_\alpha$,

где Z_α - критическое значение критерия Nw^2 при выбранном уровне значимости α (см. табл. 3.7 [1]), по которому отвергают или принимают выдвинутую гипотезу о законе теоретического распределения.

Если $Nw^2 > Z_\alpha$, то гипотеза отвергается, т.е. принимаемый теоретический закон может аппроксимировать экспериментальное распределение.

Если $Nw^2 \le Z_\alpha$, наоборот, гипотеза принимается.

Форма последовательности записи расчетных величин для использования рассматриваемого критерия приведена в таблице 2, находим $X_{ср}$ (среднее значение) и S_x (среднее квадратическое отклонение).

Таблица 2 - Форма записи

i	X_i	X_i-$X_{ср}$	$Z_i = \frac{X_i - X_{ср}}{Sx}$	$P(X_i) = 0{,}5 +$ $+ \Phi(Z_i)$	$W(X_i) = \frac{i - 0{,}5}{n}$	$P(X_i) -$ $- W(X_i)$	$[P(X_i) -$ $- W(X_i)]^2$

Методика вычисления теоретических частот нормального распределения состоит из следующих этапов:

1. Весь интервал наблюдаемых значений X (выборки объема N) делят на m частичных интервалов (x_i, x_{i+1}) одинаковой длины. Находят середины частичных интервалов $x_i^* = (x_i + x_{i+1})/2$; в качестве частоты n_i варианты x_i^* принимают число вариант, которые попали в i-й интервал при испытаниях. В итоге получают последовательность равноотстоящих вариант и соответствующих им частот:

$$x_1^* \; x_2^* \ldots x_m^*$$
$$n_1 \;\; n_2 \ldots n_m$$

При этом $\sum n_i$=N

2. Вычисляют выборочную среднюю $\overline{x^*}$ и выборочное среднее квадратическое отклонение σ*.

$$\overline{x^*}=\frac{\sum n_i x_i^*}{N}. \quad (39)$$

$$\sigma^*=\sqrt{D^*}, \quad (40)$$

где D* - дисперсия, определяемая

$$D^*=\frac{\sum n_i\left(x_i^*-\overline{x^*}\right)^2}{N}. \quad (41)$$

3. Нормируют случайную величину X, т.е. переходят к величине $Z=(X-\overline{x^*})/\sigma*$ и вычисляют концы интервалов (z_i, z_{i+1}):

$$z_i=(x_i-\overline{x^*})/\sigma*,\;\; z_{i+1}=(x_{i+1}-\overline{x^*})/\sigma*, \quad (42)$$

причем наименьшее значение Z, т.е. z_1 полагают равным -∞, а наибольшее, т.е. z_m полагают равным ∞.

4. Вычисляют теоретические вероятности p_i попадания X в интервал (x_i, x_{i+1}) по равенству:

$$p_i=\Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i), \quad (43)$$

где Ф(Z) - функция Лапласа, значения которой приведены в приложении 2 [5].

5. Находят искомые теоретические частоты:

$$n_i^{т}=N\,p_i \quad (44)$$

Для упрощения расчетов составляют следующие таблицы 3 и 4.

Таблица 3 – Границы интервала

Номер интер-вала i	Границы интер-вала		$x_i-\overline{x^*}$	$x_{i+1}-\overline{x^*}$	Границы интервала	
	x_i	x_{i+1}			$z_i=(x_i-\overline{x^*})/\sigma*$	$z_{i+1}=(x_{i+1}-\overline{x^*})/\sigma*$

Таблица 4 – Искомые теоретические частоты

Номер интер-вала i	Границы интервала		$\Phi(z_i)$	$\Phi(z_{i+1})$	$p_i=\Phi(z_{i+1}) - \Phi(z_i)$	$n_i^{т}=N\,p_i$
	z_i	z_{i+1}				
. .						
					$\sum p_i=1$	$\sum n_i^m$=N

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. Найти теоретические частоты по заданному интервальному распределению выборки объема N=200, предполагая, что генеральная совокупность распределена нормально (см. таблицу 5).

Таблица 5 – Исходные данные

Номер интервала	Границы интервала		Частота	Номер интервала	Границы интервала		Частота	Номер интервала	Границы интервала		Частота
i	x_i	x_{i+1}	n_i	i	x_i	x_{i+1}	n_i	i	x_i	x_{i+1}	n_i
1	4	6	15	4	10	12	30	7	16	18	24
2	6	8	26	5	12	14	26	8	18	20	20
3	8	10	25	6	14	16	21	9	20	22	13

Решение

1. Находим середины частичных интервалов $x_i^*=(x_i+x_{i+1})/2$; в качестве частоты n_i варианты x_i^* принимаем число вариант, которые попали в i-й интервал при испытаниях.

$x_1^*=(x_1+x_2)/2=(4+6)/2=5$

Поступая аналогично, получаем

x_i^* 5; 7; 9; 11; 13; 15; 17; 19; 21

n_i 15; 26; 25; 30; 26; 21; 24; 20; 13

2. Вычисляем выборочную среднюю $\overline{x^*}$ и выборочное среднее квадратическое отклонение σ*.

Для расчета выборочной средней используем формулу (39)

$$\overline{x^*}=\frac{\sum n_i x_i^*}{N}=\frac{5\cdot15+7\cdot26+9\cdot25+11\cdot30+13\cdot26+15\cdot21+17\cdot24+19\cdot20+21\cdot13}{200}=12{,}63$$

Для расчета среднего квадратического отклонения по формуле (40) прежде необходимо по формуле (41) рассчитать дисперсию

$$D^*=\frac{\sum n_i\left(x_i^*-\overline{x^*}\right)^2}{N}=22{,}0431$$

$$\sigma^*=\sqrt{D^*}=\sqrt{22{,}0431}=4{,}695$$

3. Переходим к величине $Z=(X-\overline{x^*})/\sigma*$ и вычисляют концы интервалов (z_i, z_{i+1}) по формуле (42)

$z_i=(x_i-\overline{x^*})/\sigma*$, $z_{i+1}=(x_{i+1}-\overline{x^*})/\sigma*$,

причем наименьшее значение Z, т.е. z_1 полагают равным -∞, а наибольшее, т.е. z_m полагают равным ∞. Расчеты сводим в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчеты границ интервалов

Номер интервала i	Границы интервала		$x_i-\overline{x^*}$	$x_{i+1}-\overline{x^*}$	Границы интервала	
	x_i	x_{i+1}			$z_i=(x_i-\overline{x^*})/\sigma*$	$z_{i+1}=(x_{i+1}-\overline{x^*})/\sigma*$
1	4	6	-	-6,63	-∞	-1,41
2	6	8	-6,63	-4,63	-1,41	-0,99
3	8	10	-4,63	-2,63	-0,99	-0,56
4	10	12	-2,63	-0,63	-0,56	-0,13
5	12	14	-0,63	1,37	-0,13	0,29
6	14	16	1,37	3,37	0,29	0,72
7	16	18	3,37	5,37	0,72	1,14
8	18	20	5,37	7,37	1,14	1,57
9	20	22	7,37	-	1,57	∞

4. Вычисляем теоретические вероятности p_i попадания X в интервал (x_i, x_{i+1}) по равенству (43) и находят искомые теоретические частоты $n_i^т$ по формуле (44):
$p_i = Ф(z_{i+1}) - Ф(z_i)$,
где Ф(Z) - функция Лапласа, значения которой приведены в приложении 2 [5].
$n_i^т = N\ p_i$.
Для упрощения расчетов составляем таблицу 7.

Таблица 7 – Теоретические частоты

Номер интер-вала i	Границы интервала		$Ф(z_i)$	$Ф(z_{i+1})$	$p_i=Ф(z_{i+1}) - Ф(z_i)$	$n_i^т=N\ p_i$
	z_i	z_{i+1}				
1	-∞	-1,41	-0,5	-0,4207	0,0793	15,86
2	-1,41	-0,99	-0,4207	-0,3389	0,0818	16,36
3	-0,99	-0,56	-0,3389	-0,2123	0,1266	25,32
4	-0,56	-0,13	-0,2123	-0,0517	0,1606	32,12
5	-0,13	0,29	-0,0517	0,1141	0,1658	33,16
6	0,29	0,72	0,1141	0,2642	0,1501	30,02
7	0,72	1,14	0,2642	0,3729	0,1087	21,74
8	1,14	1,57	0,3729	0,4418	0,0689	13,78
9	1,57	∞	0,4418	0,5	0,0582	11,64
					$\sum p_i$=1	$\sum n_i^m$=200

Задача 2. При уровне значимости 0,05 проверить гипотезу о нормальном распределении совокупности, если известны эмпирические (15; 26; 25; 30; 26; 21; 24; 20; 13) и теоретические (получают при решении задачи № 1) частоты. Применить критерий Пирсона.

Решение

1. Теоретическое число $n_i^т$ наблюдений (значений) в каждом интервале подсчитаны при решении задачи № 1. Эмпирическое число $n_i^с$ величин в интервале известно из статистических данных:

$n_i^с$ 15; 26; 25; 30; 26; 21; 24; 20; 13

$n_i^т$ 15,86; 16,36; 25,32; 32,12; 33,16; 30,02; 21,74; 13,78; 11,64

2. Определяем наблюдаемое значение критерия Пирсона по формуле (36)

$$\chi^k_{набл.} = \sum_i^m \frac{\left(n_i^с - n_i^т\right)^2}{n_i^т},$$

где m=9 – число интервалов.

$$\chi^2_{набл} = \frac{(15-15,86)^2}{15,86} + \frac{(26-16,36)^2}{16,36} + \frac{(25-25,32)^2}{25,32} + \frac{(30-32,13)^2}{32,13} + \frac{(26-33,16)^2}{33,16} +$$
$$+ \frac{(21-30,02)^2}{30,02} + \frac{(24-21,74)^2}{21,74} + \frac{(20-13,78)^2}{13,78} + \frac{(13-11,64)^2}{11,64} = 13,33$$

3. По таблице критических точек распределения χ^2 по заданному уровню значимости α=0,05 и числу степеней свободы k определяют критическую точку $\chi^2_{кр}$ (приложение 5 [5]). Число степеней свободы находим по равенству k = m – 1 – r, где m=9 - число групп (интервалов) выборки; r=2 – число параметров предполагаемого распределения (нормального).

$$k = m - 1 - r = 9-1-2 = 6$$

По таблице критических точек распределения χ^2 получаем $\chi^2_{кр}$=12,6.

Поскольку $\chi^2_{набл}=13,33 > \chi^2_{кр}=12,6$, гипотезу о нормальном законе распределения совокупности отвергаем.

3. Практические задания

Задача 1. Найти теоретические частоты по заданному интервальному распределению выборки объема N=180, предполагая, что генеральная совокупность распределена нормально (см. таблицу 8).

Таблица 8 – Исходные данные

Номер интервала	Границы интервала		Частота	Номер интервала	Границы интервала		Частота	Номер интервала	Границы интервала		Частота
i	x_i	x_{i+1}	n_i	i	x_i	x_{i+1}	n_i	i	x_i	x_{i+1}	n_i
1	4	6	10	4	10	12	27	7	16	18	22
2	6	8	23	5	12	14	26	8	18	20	17
3	8	10	21	6	14	16	19	9	20	22	15

Задача 2. Найти теоретические частоты по заданному интервальному распределению выборки объема N=100, предполагая, что генеральная совокупность распределена нормально (см. таблицу 9).

Таблица 9 – Исходные данные

Номер интервала	Границы интервала		Частота	Номер интервала	Границы интервала		Частота	Номер интервала	Границы интервала		Частота
i	x_i	x_{i+1}	n_i	i	x_i	x_{i+1}	n_i	i	x_i	x_{i+1}	n_i
1	4	6	12	4	10	12	10	7	16	18	9
2	6	8	14	5	12	14	14	8	18	20	10
3	8	10	8	6	14	16	11	9	20	22	12

Задача 3. При уровне значимости 0,05 проверить гипотезу о нормальном распределении совокупности, если известны эмпирические (10; 23; 21; 27; 26; 19; 22; 17; 15) и теоретические (получают при решении задачи № 1) частоты. Применить критерий Пирсона.

Задача 4. При уровне значимости 0,05 проверить гипотезу о нормальном распределении совокупности, если известны эмпирические (12; 14; 8; 10; 14; 11; 9; 10; 12) и теоретические (получают при решении задачи № 2) частоты. Применить критерий Пирсона.

Задача 5. При уровне значимости 0,02 проверить гипотезу об экспоненциальном законе распределения совокупности с помощью критерия Мизеса, если известны наблюдаемые значения X (см. таблицу 10):

Таблица 10 – Исходные данные

Порядковый номер	Значение	Порядковый номер	Значение	Порядковый номер	Значение	Порядковый номер	Значение	Порядковый номер	Значение
i	x_i	i	x_i	i	x_i	i	x_i	i	x_i
1	120	9	144	17	128	25	144	33	126
2	128	10	126	18	125	26	150	34	132
3	124	11	120	19	120	27	148	35	138
4	130	12	125	20	122	28	139	36	130
5	132	13	138	21	130	29	144	37	122
6	135	14	135	22	135	30	138	38	124
7	140	15	133	23	138	31	128	39	140
8	122	16	130	24	140	32	122	40	134

4. Вопросы для самоконтроля

1. Что такое аппроксимация исходных данных, полученных при испытании изделия?

2. С какой целью осуществляют аппроксимацию исходных данных, полученных при испытании изделия?

3. Каким образом проверяют качество аппроксимации исходных данных, полученных при испытании изделия?

4. В чем заключается сущность критерия Пирсона?

5. В чем заключается сущность критерия согласия (Мизеса)?

Практическое занятие 10, 11

Тема: Расчет показателей надежности при разных способах соединения элементов

Цель: освоение методики расчета показателей надежности при разных способах соединения элементов в системе

Форма проведения занятия – упражнения

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §3.5 главы 3 учебного пособия [1].

Допустим, что система состоит из n последовательно включенных элементов. Функциональные связи элементов системы, при которых отказ системы наступает при отказе хотя бы одного из элементов, называют последовательным соединением. Из теории вероятностей известно, что если определены вероятности появления нескольких независимых случайных событий, то совпадение этих событий определяется как произведение вероятностей их появлений. В нашем случае работоспособное состояние любого из n элементов системы оценивается как вероятность безотказной работы элемента. Система будет находиться в работоспособном состоянии только при условии совпадения работоспособных состояний всех элементов. Таким образом, работоспособность системы оценивается как произведение вероятностей безотказной работы элементов:

$$P(t)= P_1(t)\cdot \ldots \cdot P_n(t)=\prod_{i=1}^{n} P_i(t), \qquad (45)$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i-го элемента.

Система, как и элемент, может находиться в одном из двух несовместных событий: отказа или работоспособности. Следовательно,

$P(t)+Q(t)=1;\quad Q(t)=1- P(t),$

где Q(t) – вероятность отказа системы, определяемая

$$Q(t)=1-\prod_{i=1}^{n} P_i(t)\ . \qquad (46)$$

При экспоненциальном законе распределения надежности

$$P(t)=e^{-\sum_{i=1}^{n}\lambda_i t_i}, \qquad (47)$$

где λ_i – интенсивность отказа i-го элемента.

Функциональные связи элементов, при которых отказ системы наступает только при отказе всех элементов, называют параллельным соединением. Если система состоит из m параллельно соединенных элементов с известными вероятностями безотказной работы $P_j(t)$ и независимыми отказами, правило умножения вероятностей можно применить к вероятности отказа системы

$$Q(t)= Q_1(t)\cdot \ldots \cdot Q_m(t)=\prod_{j=1}^{m} Q_j(t). \qquad (48)$$

Поскольку Q(t)=1- P(t), то вероятность безотказной работы системы

$$P(t)=1- \prod_{j=1}^{m} Q_j(t)=1- \prod_{j=1}^{m}\left(1-P_j(t)\right). \qquad (49)$$

При экспоненциальном законе распределения надежности и равнонадежных элементах получаем

$$P(t)=1-(1-P_j(t))^m. \qquad (50)$$

Многие системы имеют смешанное соединение, когда общее функционирование определяется последовательным и параллельным соединением элементов. На рисунке 1 показана структурная схема, состоящая из m параллельных цепей, каждая из которых состоит из n последовательно соединенных элементов. Такие схемы моделируют системы с общим резервированием.

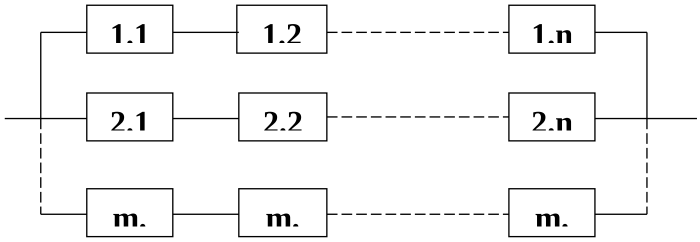


Рисунок 1 - Система с общим резервированием

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

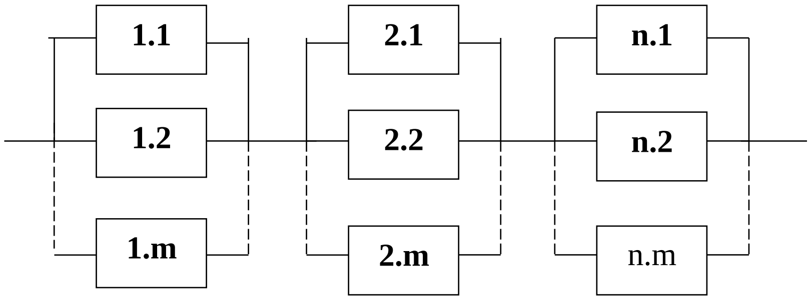


Рисунок 2 - Система с раздельным резервированием

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. Структурная схема работы механизма представлена пятью элементами, вероятности безотказной работы которых равны: 0,94; 0,96; 0,97; 0,95; 0,98. Выход из строя любого из элементов приводит к отказу механизма. Определить вероятность безотказной работы механизма.

Решение

Поскольку выход из строя любого из элементов приводит к отказу механизма, то элементы механизма соединены последовательно. Следовательно, для расчета вероятности безотказной работы механизма используем формулу (45)

$P(t)= P_1(t)\cdot \ldots \cdot P_n(t)=\prod_{i=1}^{n} P_i(t)$,

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i-го элемента.

$P(t)=0{,}94\cdot 0{,}96\cdot 0{,}97\cdot 0{,}95\cdot 0{,}98=0{,}815$

Задача 2. Структурная схема работы механизма представлена четырьмя элементами, вероятности безотказной работы которых равны: 0,93; 0,96; 0,98; 0,95. К отказу механизма приводит отказ всех элементов. Определить вероятность безотказной работы механизма.

Решение

Поскольку к отказу механизма приводит отказ всех элементов, то элементы механизма соединены параллельно. Следовательно, для расчета вероятности безотказной работы механизма используем формулу (49)

$P(t)=1- \prod_{j=1}^{m} \left(1 - P_j(t)\right)$,

где $P_j(t)$ – вероятность безотказной работы j-го элемента.

$P(t)=1-(1-0{,}93)\cdot(1-0{,}96)\cdot(1-0{,}98)\cdot(1-0{,}95)=0{,}99$

Задача 3. Вывести формулу для расчета вероятности безотказной работы системы, состоящей из m параллельных цепей, каждая из которых состоит из n последовательно соединенных элементов (системы с общим резервированием). При решении задачи воспользуйтесь рисунком 1.

Решение

Многие системы имеют смешанное соединение, когда общее функционирование определяется последовательным и параллельным соединением элементов. На рис.1 показана структурная схема, состоящая из m параллельных цепей, каждая из которых состоит из n последовательно соединенных элементов. Такие схемы моделируют системы с общим резервированием.

Для расчета данной схемы надо в формуле (49) вероятность $P_j(t)$ выразить через вероятность последовательной цепи (45)

$$P(t)=1-\prod_{j=1}^{m}\left(1-\prod_{i=1}^{n}P_{ij}(t)\right), \qquad (51)$$

где $P_{ij}(t)$ – вероятность безотказной работы элемента системы с общим резервированием.

Если считать, что вероятность безотказной работы всех элементов одинакова ($P_{ij}(t)=P$), то результирующая надежность схемы определяется

$$P(t)=1-(1-P^n)^m. \qquad (52)$$

3. Практические задания

Задача 1. Определить вероятность безотказной работы машины постоянного тока. На структурной схеме она представлена коллекторно-щеточным узлом (вероятность безотказной работы 0,92), подшипниками (вероятность безотказной работы 0,95), обмоткой якоря (вероятность безотказной работы 0,99), обмоткой возбуждения (вероятность безотказной работы 0,99). Все данные приведены к наработке 5000 ч. Выход из строя любого из названных элементов приводит к отказу машины.

Задача 2. Структурная схема работы механизма представлена пятью элементами, вероятности безотказной работы которых равны: 0,95; 0,92; 0,98; 0,99; 0,96. К отказу механизма приводит отказ всех элементов. Определить вероятность безотказной работы механизма.

Задача 3. Вывести формулу для расчета вероятности безотказной работы системы, в которой последовательно соединены n групп, состоящих из m параллельно включенных элементов (системы с раздельным резервированием). При решении задачи воспользуйтесь рисунком 2.

Задача 4. Пускорегулирующая аппаратура представлена структурной схемой надежности. Вероятность безотказной работы каждого элемента представлена на рисунке 3. Определить вероятность безотказной работы всей схемы в целом.

Задача 5. Пускорегулирующая аппаратура представлена структурной схемой надежности. Вероятность безотказной работы каждого элемента представлена на рисунке 4. Определить вероятность безотказной работы всей схемы в целом.

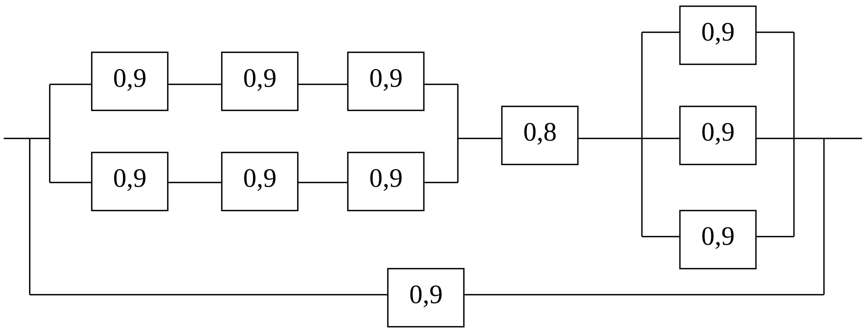


Рисунок 3 – К условию задачи 4

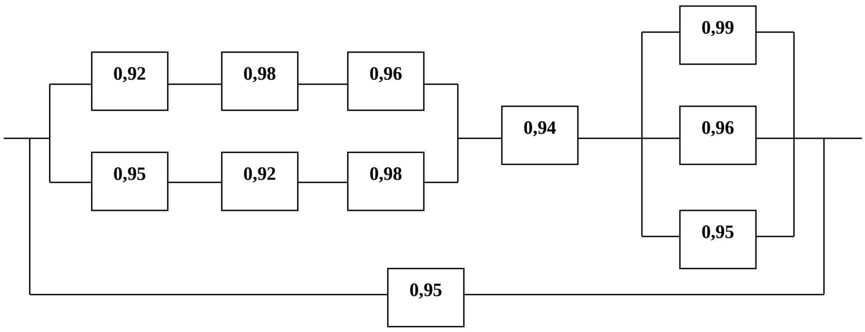


Рисунок 4 – К условию задачи 5

Задача 6. Структурная схема системы и вероятность безотказной работы каждого элемента представлены на рисунке 5. Определить вероятность безотказной работы всей системы в целом.

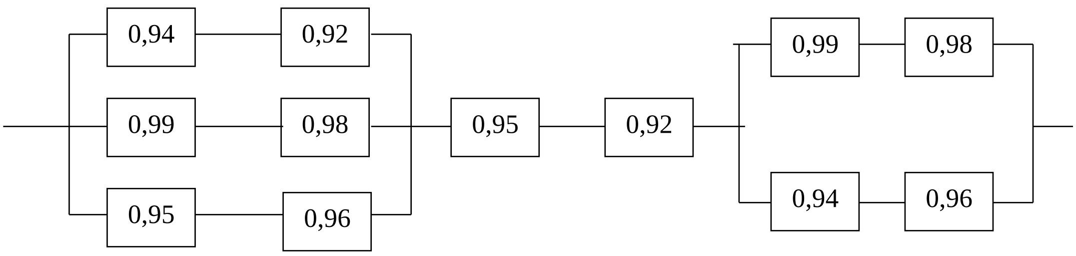


Рисунок 5 – К условию задачи 6

4. Вопросы для самоконтроля

1. Какие существуют способы соединения элементов в системе?
2. От каких факторов зависит надежность системы в целом?
3. Что такое функциональная схема системы?
4. Как определяется вероятность безотказной работы при последовательном соединении элементов в системе?
5. Как определяется вероятность безотказной работы при параллельном соединении элементов в системе?

Практическое занятие 12

Тема: Методы повышения надежности объектов

Цель: научиться применять различные методы повышения надежности технических систем

Форма проведения занятия – семинар

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к семинару рекомендуется изучение 3.6 главы 3 [1], главы 13 [4], §9.1, 9.4, 9.6, 9.11 главы 9 [6], §4.10 - 4.12 главы 4 [6], §10.5, 10.9 главы 10 [6].

Методы обеспечение и повышения надежности технических систем можно разделить на три основные группы: конструктивные, технологические (или производственные) и эксплуатационные.

Конструктивные методы повышения надежности предусматривают создание запасов прочности металлоконструкций; облегчение режимов работы элементов; упрощение конструкции; использование стандартных деталей и узлов; обеспечение ремонтопригодности; обоснованное использование методов резервирования.

Среди способов повышения надежности при производстве основными являются следующие: совершенствование технологии и организации производства; применение инструментальных методов контроля качества продукции при статистически обоснованных выборках; тренировка элементов и систем; применение материалов повышенной прочности и износостойкости.

К эксплуатационным методам повышения надежности технических систем относятся: повышение квалификации обслуживающего персонала; применение инструментальных методов контроля технического состояния систем; проведение профилактических мероприятий (техническое обслуживание и ремонт); обоснование состава запасных частей, инструментов, принадлежностей (ЗИП); разработка способов прогнозирования неисправностей.

Количество запасных частей имеет большое значение для обеспечения надежности в процессе эксплуатации. Существует приближенный метод расчета численного состава ЗИП, который учитывает срок службы и наработку изделия на отказ. Рассчитанное таким образом значение не всегда является правильным, поэтому необходимо использовать уточненный метод расчета, основанный на использовании уровня достаточности.

2. Вопросы к семинарскому занятию

1. Конструктивные способы обеспечения надежности технических систем.

2. Технологические способы обеспечения надежности изделий в процессе эксплуатации.

3. Мероприятия по обеспечению надежности технических систем в процессе эксплуатации.

4. Влияние технического обслуживания на поддержание надежности в условиях эксплуатации.

5. Организационно-технические методы по восстановлению и поддержанию надежности технических систем при эксплуатации.

6. Выбор номенклатуры состава запасных частей.

7. Приближенный и уточненный методы расчета численного состава запасных частей.

3. Литература

1. Труханов В.М. Надежность технических систем. - Машиностроение-1, 2008.- 585 с. [6].

2. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / В.Ф. Воскобоев. – Москва: Альянс. Ч.1: Надежность технических систем – 2014. – 200 с. [4].

3. Евдокимова Н.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие/ Н.А. Евдокимова; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2004. – 146 с. [1].

4. Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируются методы повышения надежности технических систем?

2. Приведите примеры основных конструктивных методов повышения надежности.

3. Почему использование стандартных изделий и узлов является конструктивным методом повышения надежности?

4. Какими способами можно добиться повышения прочности и износостойкости материалов?

5. Можно ли повысить уровень надежности на стадии эксплуатации технической системы по сравнению с уровнем надежности, заложенным при проектировании и изготовлении?

6. Какие Вы знаете стратегии ремонта, и в чем заключается их сущность?

7. Как Вы понимаете термины «одиночный и групповой комплект ЗИП»?

8. Сформулируйте задачу расчета количественного состава ЗИП.

Практическое занятие 13

Тема: Методы качественного анализа риска технических систем

Цель: освоение методов качественного анализа риска технических систем

Форма проведения занятия – семинар

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к семинару рекомендуется изучение §4.2 главы 4 [1], §4.2 главы 4 [7], §3.6 - 3.9 главы 3 [8].

Проблема защиты человека от опасностей в различных условиях его обитания возникла одновременно с появлением на Земле наших далеких предков. На заре человечества это были опасные природные явления, представители биологического мира. С течением времени стали появляться опасности, творцом которых стал сам человек.

Анализ опасностей позволяет определить источники опасностей, потенциальные н-чепе, чепе-инициаторы, последовательность развития событий, вероятности чепе, величину риска, величину последствий, пути предотвращения чепе и смягчения последствий.

На практике анализ риска начинают с грубого исследования, позволяющего идентифицировать в основном источники опасностей. Т.е. анализ риска технической системы начинают с применения метода предварительного анализа опасностей. Затем при необходимости исследования могут быть углублены, и может быть проведен детальный качественный анализ. Выбор того или иного качественного метода анализа зависит от преследуемой цели, предназначения объекта и его сложности.

Качественные методы анализа включают: предварительный анализ опасностей, анализ последствий отказов, анализ опасностей с помощью дерева причин, анализ опасностей с помощью дерева последствий, анализ опасностей методом потенциальных отклонений, анализ ошибок персонала, причинно-следственный анализ.

2. Вопросы к семинарскому занятию

1. В чем заключается предварительный анализ опасностей.

2. Что такое анализ последствий отказов (АПО).

3. Чем отличается метод анализа опасностей с помощью дерева причин от метода анализа опасностей с помощью дерева последствий.

4. Что включает в себя анализ опасностей методом потенциальных отклонений (АОМПО).

5. В чем заключается метод причинно-следственного анализа.

3. Литература

1. Евдокимова Н.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие/ Н.А. Евдокимова; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2004. – 146 с. [1].

2. Безопасность жизнедеятельности: учеб./ ред. Белов С.В.; авт. Девисилов В.А., Ильницкая А.В. – М.: Высшая шк., 2006 – 616 с. [7].
3. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск: Анализ и оценка: Учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 118 с. [8].

4. Вопросы для самоконтроля

1. Назовите методы качественного анализа риска технических систем.

2. С применения какого метода начинают на практике анализ риска технических систем?

3. Позволяет ли анализ последствий отказов собрать данные, необходимые для количественной оценки уровня опасности рассматриваемой технической системы?

4. Следует ли вводить в содержание дерева причин потенциальные инциденты, связанные с совершением ошибки оператором, при применении метода анализа опасностей с помощью дерева причин?

5. В основном к оценке риска каких объектов применяется анализ опасностей методом потенциальных отклонений?

6. Чем завершается причинно-следственный анализ риска технических систем?

Практическое занятие 14

Тема: Методы качественного анализа риска технических систем

Цель: приобретение навыков применения методов качественного анализа риска технических систем

Форма проведения занятия – упражнение

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §4.2 главы 4 учебного пособия [1].

Как уже отмечалось, качественные методы анализа включают: предварительный анализ опасностей, анализ последствий отказов, анализ опасностей с помощью дерева причин, анализ опасностей с помощью дерева последствий, анализ опасностей методом потенциальных отклонений, анализ ошибок персонала, причинно-следственный анализ.

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;

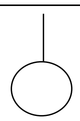
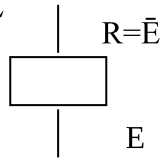
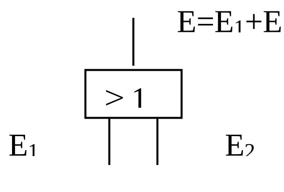
2) устанавливают законы, стандарты, правила, действия которых распространяются на данный технический объект, систему, процесс;

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.

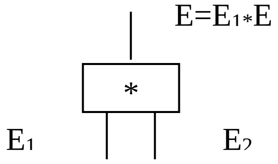
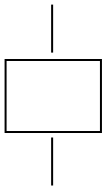
Анализ последствий отказов (АПО) основан на системном подходе и имеет характер прогноза. Этим методом можно оценить опасный потенциал любого технического объекта. АПО обычно осуществляют в следующем порядке:
1) техническую систему (объект) подразделяют на компоненты;
2) для каждого компонента выявляют возможные отказы;
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.

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 можно использовать символы, представленные в таблице 11.

Таблица 11 – Символы для построения дерева причин потенциального чепе

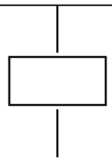
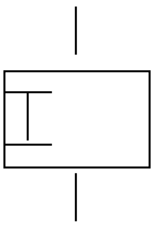
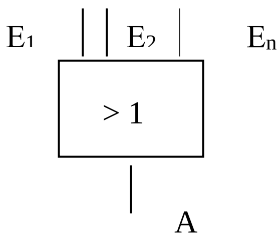
№ п/п	Элемент и его символ	Комментарий
1	Вход 	Элемент «вход» обозначает соответствующее чепе
2	Элемент НЕ 	Элемент «НЕ» обозначает ненаступление события
3	Элемент ИЛИ 	Элемент ИЛИ может меть любое число входов (показано два). Чепе E наступает при появлении хотя бы одного из событий E_i. Для получения логической формулы чепе обозначают +.

Продолжение таблицы 11

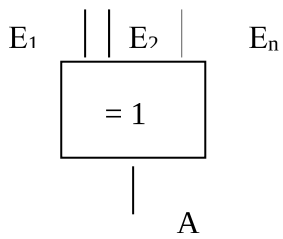
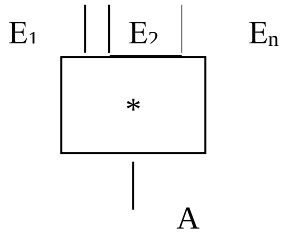
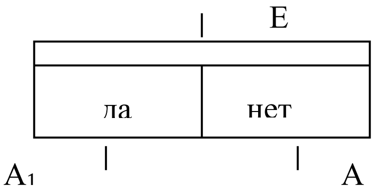
№ п/п	Элемент и его символ	Комментарий
4	Элемент И 	Элемент И может иметь любое число входов (показано два). Чепе E наступает при появлении всех событий E_i. Для получения логической формулы чепе обозначают *.
5	Ремарка 	Элемент служит для описания входа, выхода, логических связей

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. Для построения дерева последствий можно использовать символы, представленные в таблице 12.

Таблица 12 - Символы для построения дерева последствий потенциального чепе

№ п/п	Символ	Комментарий
1		Запись чепе
		Задержка во времени
		Элемент для неисключающих друг друга чепе (ИЛИ). Чепе A происходит, когда происходит одно чепе или больше из совокупности E_1, E_2, …, E_n

Продолжение таблицы 12

№ п/п	Символ	Комментарий
		Элемент для взаимно исключающих друг друга чепе. Чепе А происходит, когда происходит одно и только одно чепе из совокупности $E_1, E_2, \ldots, E_n$
		Элемент И. Чепе А происходит, если имеют место все чепе $E_1, E_2, \ldots, E_n$
		Разветвление простое: если наступит событие A_1, то чепе Е произойдет; если наступит событие A_2, то чепе Е не произойдет.

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 (таблицу 13) отклонения, систематично изучают их потенциальные причины и те последствия, к которым они могут привести на практике.

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 предупреждения. Составляют перечень событий, предшествовавших чепе. 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, …, X_n еще необходимы, чтобы непосредственно вызвать событие Y?

Таблица 13 – Ключевые слова

Ключевые слова	Их значение (смысл)
НЕ или НЕТ	Полное отрицание предназначения используемого объекта или какой-либо его функции
ЕЩЕ БОЛЕЕ, ЕЩЕ МЕНЕЕ	Количественное увеличение или количественное уменьшение
НЕ ТОЛЬНО, НО ТАКЖЕ	Качественное увеличение
ЧАСТИЧНО (ОТЧАСТИ)	Качественное уменьшение
РЕВЕРС, ПЕРЕМЕНА НАПРАВЛЕНИЯ	Логическая противоположность предназначенной функции
ДРУГОЙ ЧЕМ	Полная замена предназначения исследуемого объекта

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. Построить дерево причин потенциального чепе, заключающегося в прекращении выработки электроэнергии генератором. Причинами этого может быть хотя бы одно из событий: обрыв цепи выключателя; отказ внутренней обмотки двигателя; вторичные отказы; отключение сети. Отключение сети может произойти либо из-за отказа сети, либо из-за перегорания предохранителя. Вторичные отказы могут быть обусловлены либо неудовлетворительным техническим обслуживанием, либо аномальными условиями эксплуатации, либо внешними катастрофами (пожар, наводнение и т.п.).

Решение

1. Для решения задачи необходимо использовать метод анализа опасностей с помощью дерева причин потенциального чепе (АОДП). Сначала выбираем потенциальное чепе - прекращение выработки электроэнергии генератором.
2. Затем выявляем все факторы, которые могут привести к данному чепе: обрыв цепи выключателя; отказ внутренней обмотки двигателя; вторичные отказы; отключение сети. В свою очередь отключение сети может произойти либо из-за отказа сети, либо из-за перегорания предохранителя. Вторичные отказы могут быть обусловлены либо неудовлетворительным техническим обслуживанием, либо аномальными условиями эксплуатации, либо внешними катастрофами (пожар, наводнение и т.п.).
3. По результатам этого анализа строим ориентированный граф (рисунок 6). Вершина этого графа занумерована потенциальным чепе - прекращение выра-

ботки электроэнергии генератором. Поэтому граф является деревом. При построении дерева можно используем символы, представленные в таблице 11.

Поскольку чепе «прекращение выработки электроэнергии генератором» наступает при появлении хотя бы одного из событий (обрыв цепи выключателя; отказ внутренней обмотки двигателя; вторичные отказы; отключение сети), то в данном месте дерева причин потенциального чепе необходимо использовать элемент ИЛИ. Событие «отключение сети» может произойти либо из-за отказа сети, либо из-за перегорания предохранителя, следовательно, в данном месте дерева причин потенциального чепе необходимо использовать элемент ИЛИ. Поскольку вторичные отказы могут быть обусловлены либо неудовлетворительным техническим обслуживанием, либо аномальными условиями эксплуатации, либо внешними катастрофами, в данном месте дерева причин потенциального чепе необходимо также использовать элемент ИЛИ.

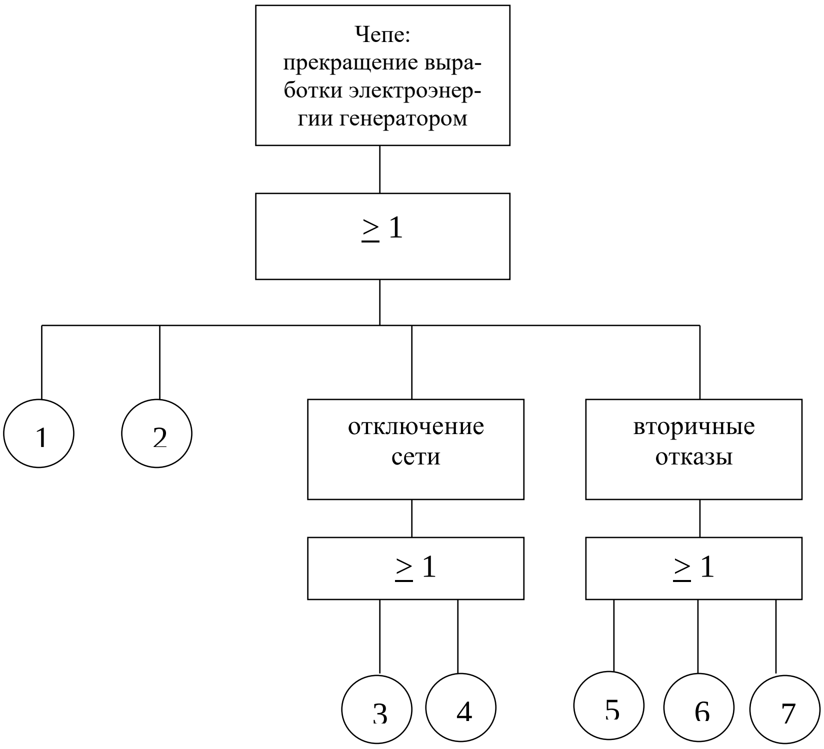


Рисунок 6 – Дерево причин потенциального чепе

На рис. 6 цифрами обозначены следующие наименования отказов:1 - обрыв цепи выключателя, 2 - отказ внутренней обмотки двигателя, 3 - отказ сети, 4- перегорание предохранителя, 5 - неудовлетворительное техническое обслуживание,6 - аномальные условия эксплуатации, 7 - внешние катастрофы (пожар, наводнение и т.п.).

Задача 2. Во дворе предприятия водитель тягача приступает к сцепке тягача с прицепом. Операция осложнилась из-за различной высоты тягача и прицепа, и водитель спустился вниз, чтобы выяснить причину затруднения, забыв поставить тягач на тормоз. Кроме того, это был не тот тягач, который обычно эксплуатировался с этим прицепом. Когда водитель находился между прицепом и тягачом, тягач с работающим двигателем скатился назад по небольшому уклону и придавил водителя к раме прицепа. Провести причинно-следственный анализ данного несчастного случая.

Решение

Причинно-следственный анализ (ПСА) выявляет причины происшедшего чепе – несчастный случай. Составим перечень событий, предшествовавших чепе, при этом обратим внимание на то, что регистрируемые реальные события и факты бывают двух видов: носящие случайный и постоянный характер. Используем следующие обозначения событий:

- X_1 – обычно используемый тягач вышел из строя;
- X_2 – другой тягач использовался в работе;
- X_3 – различие в высоте прицепа и нового тягача;
- X_4 – осуществление сцепки затруднено;
- X_5 – водитель встает между тягачом и прицепом;
- X_6 – не включен ручной тормоз;
- X_7 – вибрация от работающего двигателя;
- X_8 – двор имеет уклон (факт постоянного характера);
- X_9 – тягач движется к прицепу;
- X_{10} – водитель зажимается между прицепом и тягачом;
- N – несчастный случай.

Построим ориентированный граф – дерево причин. Построение начинаем с последней стадии развития событий, а именно, с чепе-несчастья (несчастный случай). По каждому предшествующему событию последовательно ставим 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, …, X_n еще необходимы, чтобы непосредственно вызвать событие Y? В результате получаем дерево причин, представленное на рисунке 7.

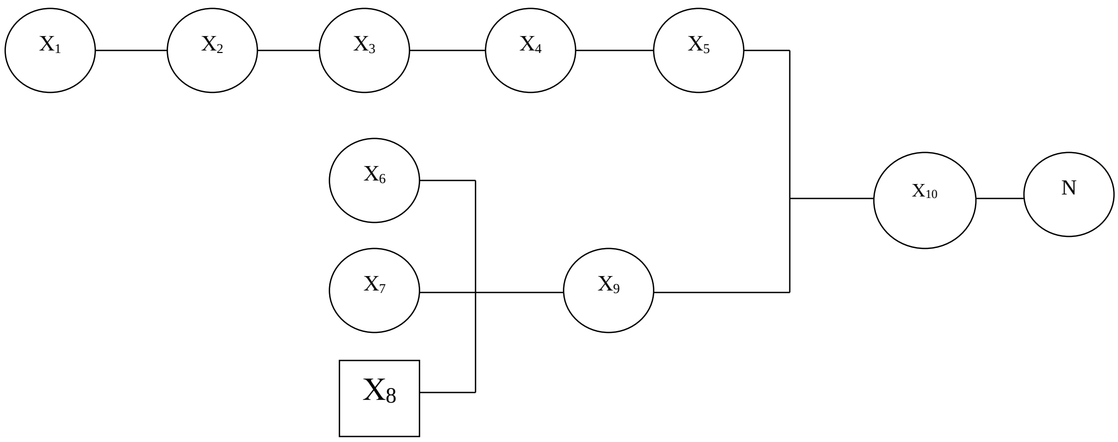


Рисунок 7 – Дерево причин произошедшего чепе

3. Практические задания

Задача 1. Гибель человека от электрического тока может произойти при включении его тела в электрическую цепь с достаточной для этого силой тока. Следовательно, чтобы произошел несчастный случай (событие А) необходимо одновременное выполнение трех условий:

- наличие потенциально высокого напряжения на корпусе электроустановки (событие Б);
- появление человека на токопроводящем основании, соединенном с землей (событие В);
- касанием тела человека корпуса электроустановки (событие Г).

В свою очередь событие Б может быть следствием любого из трех событий:

- понижение сопротивления изоляции токоведущих частей (событие Д);
- касание ими корпуса установки (событие Е).

Событие В также может быть обусловлено двумя условиями:

- вступление человека на токопроводящее основание (событие Ж);
- касание его туловищем заземленных элементов помещения (событие З).

Событие Г является результатом появления хотя бы одной из трех предпосылок:

- потребность ремонта (событие И);
- потребность технического обслуживания (событие К);
- использование электроустановки по назначению, т.е. нормальная эксплуатация электроустановки (событие Л).

Построить дерево причин поражения человека электротоком и получить логическую формулу реализации данного несчастного случая.

Задача 2. На скважине в Саратовской области произошел групповой несчастный случай. После окончания работ бригада (4 человека) зашла в вахтовый вагон для отдыха. Для отопления вахтового вагона используется отопительный газовый аппарат с пропановым баллоном. В помещении находились подключенный к отопительной установке баллон и резервный, заполненный пропаном. Внезапно над отопительным прибором произошел выброс газа с дальнейшим воспламенением и распространением пламени по помещению. Находившиеся в вагоне люди стали спасаться бегством через дверь и окна. Вскоре после эвакуации людей произошел взрыв пропановых баллонов, работники получили термические ожоги различной степени кистей рук и лица.

Техническими причинами несчастного случая явилась разгерметизация рабочего баллона. В дальнейшем были обнаружены металлургические дефекты в элементах баллонов и дефекты сборки баллонов. На пункте заполнения баллонов пропаном отсутствовал манометр на трубопроводах накопительной колонки, что могло привести к переполнению баллонов при заполнении.

Задача 3. Выполнение сварочных работ сопровождается искрой, которая может вызвать возгорание. В случае возникновения задымления в помещении автоматически срабатывает спринклерная система пожаротушения (ССП). При большом очаге пожара необходимо в соответствии с инструкцией включить систему пожаротушения (СП) и вызвать пожарных. Построить дерево последствий потенциального чепе.

Задача 4. На рисунке 8 представлена схема управления с двумя кнопками A_1 и A_2, которые при нажатии на них замыкают контакты B_1 и B_2, при этом включается катушка реле R и производится пуск машины (не показана). Выполнить анализ последствий отказов, учитывая, что опасность возникает, если происходит чепе – случайный пуск машины. Получить логическую формулу чепе. Обозначить: L – короткое замыкание между точками 1 и 1′; A_i - замыкание i-го контакта вследствие нажатия кнопки; B_i - замыкание i-го контакта вследствие механического повреждения.

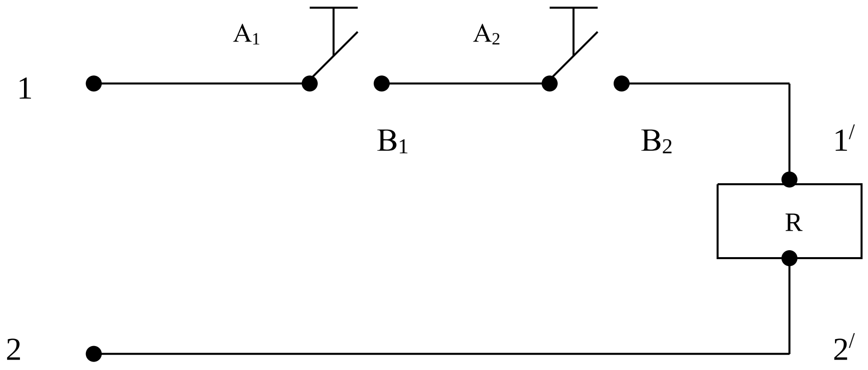
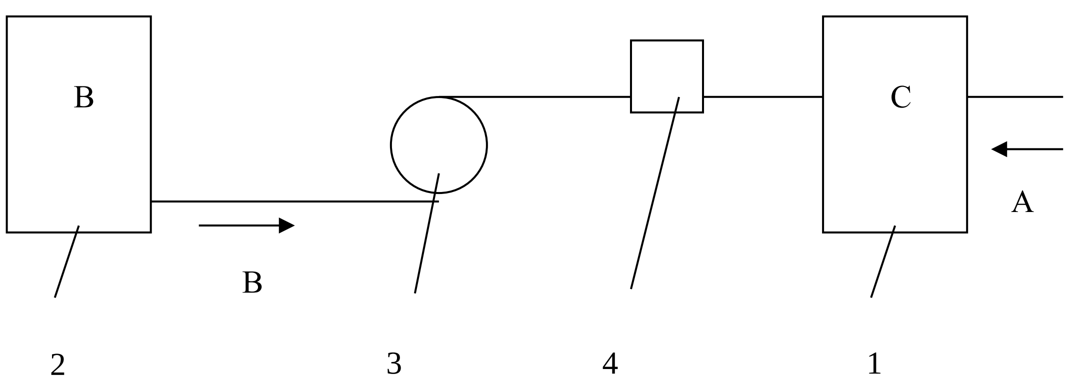


Рисунок 8 - Схема управления пуском машины

Задача 5. Имеется герметичный объект, в котором химические вещества A и B вступают в реакцию, чтобы образовать продукт C (рисунок 9). Допустим, что потенциальным чепе является взрыв, происходящий тогда, когда концентрация C_A вещества A превысит концентрацию C_B вещества B в емкости 1. Провести анализ опасностей методом потенциальных отклонений.



1, 2 – резервуары; 3 – насос; 4 - вентиль

Рисунок 9 - Схема взаимодействия химических веществ

4. Тесты для самоконтроля

1. 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 последствий отказов

б) анализ опасностей методом потенциальных отклонений

в) анализ опасностей с помощью дерева последствий

г) анализ опасностей с помощью дерева причин

д) причинно-следственный анализ

2. 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 последствий отказов

б) анализ опасностей методом потенциальных отклонений

в) анализ опасностей с помощью дерева последствий

г) анализ опасностей с помощью дерева причин

д) причинно-следственный анализ

3. 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 последствий отказов

б) анализ опасностей методом потенциальных отклонений

в) анализ опасностей с помощью дерева последствий

г) анализ опасностей с помощью дерева причин

д) причинно-следственный анализ

4. 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 последствий отказов

б) анализ опасностей методом потенциальных отклонений

в) анализ опасностей с помощью дерева последствий

г) анализ опасностей с помощью дерева причин

д) причинно-следственный анализ

Практическое занятие 15

Тема: Методы количественного анализа риска технических систем

Цель: освоение методов качественного анализа риска технических систем

Форма проведения занятия – упражнение

1. Методические рекомендации по выполнению заданий

Для подготовки к решению задач рекомендуется изучение §4.3 главы 4 учебного пособия [1].

В широком смысле слова риск выражает возможную опасность, вероятность нежелательного события. Применительно к проблеме безопасности жизнедеятельности таким событием может быть ухудшение здоровья или смерть человека, авария или катастрофа технической системы или устройства, загрязнение или разрушение экологической системы, гибель группы людей или возрастание смертности населения, материальных ущерб от реализовавшихся опасностей или увеличения затрат на безопасность.

Аналитически риск выражает частоту реализации опасностей по отношению к возможному их числу. В общем виде

$$R = \frac{N(f)}{Q(f)}, \qquad (53)$$

где R – риск;

N – количественный показатель частоты нежелательных событий в единицу времени *t*;

Q – число объектов риска, подверженных определённому фактору риска f.

Соотношение объектов риска и нежелательных событий позволяет различать индивидуальный, техногенный, экологический, социальный и экономический риск. Каждый вид его обусловливают характерные источники и факторы риска.

Техногенный риск – комплексный показатель надёжности элементов техносферы. Он выражает вероятность аварии или катастрофы при эксплуатации машин, механизмов, реализации технологических процессов, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений:

$$R_т = \frac{\Delta T}{T}, \qquad (54)$$

где $R_т$ – техногенный риск;

ΔT – число аварий в единицу времени t на идентичных технических системах и объектах;

T – число идентичных технических систем и объектов, подверженных общему фактору риска.

При анализе опасностей сложные системы разбивают на множество подсистем. Подсистемы, в свою очередь, состоят из компонентов – частей системы, которые рассматривают без дальнейшего членения, как единое целое. Логический анализ внутренней структуры системы человек-машина-среда (ЧМС) и определение вероятности чепе E как функции отдельных чепе E_i являются одной из задач анализа опасностей. Через $P\{E_i\}$ будем обозначать вероятность нежелательного события E_i.

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_i – отказ i-го компонента (компонента E_i), то чепе ИЛИ есть событие:

$$E_{или}=E_1+E+_2\ldots+E_n, \tag{55}$$

где n – число компонентов подсистемы ИЛИ.

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

$$P\{E_{или}\}=1-\prod_{i=1}^{n}(1-P\{E_i\}) \tag{56}$$

Для равновозможных отказов (P $\{E_i\}$ = p) вероятность чепе ИЛИ:

$$P\ \{E\} = 1 - (1 - p)^n \tag{57}$$

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

$$E_и=E_1\cdot E\cdot_2\ldots\cdot E_n \tag{58}$$

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

$$P\{E_и\}=\prod_{i=1}^{n}P\{E_i\} \tag{59}$$

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:

$$R = \sum_{i=1}^{n} P_i \tag{60}$$

При необходимости можно использовать определение риска как вероятность превышения предела:

$$R = p(\xi > x) \tag{61}$$

где ξ - случайная величина,

x – некоторое значение.

Обычно при оценке риска его характеризуют двумя величинами – вероятностью события P и последствиями U (обычно ущерб), которые в выражении математического ожидания выступают как сомножители:

$$R = P \cdot U \tag{62}$$

Если каждому нежелательному событию, происходящему с вероятностью P_i, соответствует ущерб U_i, то величина риска будет представлять собой ожидаемую величину ущерба

$$R=U=\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot U_i, \tag{63}$$

где n – количество нежелательных событий.

Если все вероятности наступления нежелательного события одинаковы (P_i = P), то

$$R=U=P\sum_{i=1}^{n} U_i \qquad (64)$$

2. Примеры выполнения заданий

Задача 1. В России на объектах нефтегазовой отрасли за истекший год произошло 20 аварий. Из них 8 – фонтаны; 2 – падение вышек; 5 – пожары; 5 – прочие виды аварий. Всего в нефтегазовой отрасли насчитывалось 372 тыс. объектов. Определить риск аварий на нефтегазовых объектах России в истекшем году в целом и риски, связанные с различными причинами.

Решение

Для решения задачи воспользуемся формулой (54)

$R_т=\frac{\Delta T}{T}$,

ΔT – число аварий в единицу времени t на идентичных технических системах и объектах;

T – число идентичных технических систем и объектов, подверженных общему фактору риска.

Риск аварий на нефтегазовых объектах России, связанный с фонтанами,

$R_т=\frac{8}{372000}=21{,}5 \cdot 10^6$

Риск аварий на нефтегазовых объектах России, связанный с падением вышек,

$R_т=\frac{2}{372000}=5{,}3 \cdot 10^6$

Риск аварий на нефтегазовых объектах России, связанный с пожарами,

$R_т=\frac{5}{372000}=13{,}4 \cdot 10^6$

Риск аварий на нефтегазовых объектах России, связанный с прочими причинами,

$R_т=\frac{5}{372000}=13{,}4 \cdot 10^6$

Риск аварий на нефтегазовых объектах России

$R_т=\frac{20}{372000}=53{,}7 \cdot 10^6$

Задача 2. Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия технической системы, состоящей из 3-х подсистем с независимыми отказами. Вероятности отказов подсистем: $P_1 = 10^{-3}$, $P_2 = 10^{-4}$, $P_3 = 10^{-2}$, ожидаемые ущербы от отказов подсистем $U_1 =10 \cdot 10^6$ руб., $U_2 = 50 \cdot 10^6$ руб., $U_3 = 5 \cdot 10^6$ руб.

Решение

Определим величину риска чрезвычайного происшествия технической системы как ожидаемую величину ущерба по формуле (63)

$R=U=\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot U_i= P_1U_1 + P_2U_2 + P_3U_3 = 10^{-3} \cdot (10 \cdot 10^6) + 10^{-4} \cdot (50 \cdot 10^6) +$
$+ 10^{-2} \cdot (5 \cdot 10^6)=65000$ (руб.)

Задача 3. Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия технической системы, состоящей из 3-х подсистем с независимыми равновозможными отказами Р= 10^{-2}. Ожидаемые ущербы от отказов подсистем U_1= =5 $\cdot10^6$, $U_2 = 10\cdot10^6$, $U_3 = 20\cdot10^6$.

Решение

Определим величину риска чрезвычайного происшествия технической системы с равновозможными отказами подсистем как ожидаемую величину ущерба по формуле (64)

$$R=U=P\sum_{i=1}^{n} U_i= P\cdot(U_1+ U_2+ U_3)= 10^{-2}\cdot(5 \cdot10^6+10\cdot10^6+20\cdot10^6)=750000 \text{ (руб.)}$$

Задача 4. Защитный экран токарного станка предотвращает 94% несчастных случаев, а инструкция по охране труда – 97% несчастных случаев. В определенном смысле – это параллельные мероприятия, составляющие подсистему И. Определить риск несчастного случая при работе на токарном станке.

Решение

Поскольку указанные в условии задачи мероприятия применяются параллельно, т.е. составляют подсистему И, для решения задачи воспользуемся формулой (59)

$$P\{E_и\}=\prod_{i=1}^{n} P\{E_i\}$$

Поскольку защитный экран токарного станка предотвращает 94% несчастных случаев, то, следовательно, вероятность (риск) несчастного случая при применении защитного экрана составляет $P\{E_1\}=0,06$.

Поскольку инструкция по охране труда предотвращает 97% несчастных случаев, то, следовательно, вероятность (риск) несчастного случая при соблюдении инструкции по охране труда составляет $P\{E_2\}=0,03$.

Следовательно, риск несчастного случая при работе на токарном станке

$$R=0,06\cdot0,03=0,0018$$

3. Практические задания

Задача 1. В России на объектах нефтегазовой отрасли в 2010 году произошло 18 аварий. Из них 7 – фонтаны; 2 – падение вышек; 4 – пожары; 5 – прочие виды аварий. Всего в нефтегазовой отрасли насчитывалось 370 тыс. объектов. Определить риск аварий на нефтегазовых объектах России в 2010 г. в целом и риски, связанные с различными причинами.

Задача 2. Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия технической системы, состоящей из 4-х подсистем с независимыми отказами. Вероятности отказов подсистем: $P_1 = 10^{-2}$, $P_2 = 10^{-4}$, $P_3 = 10^{-2}$, $P_4 = 10^{-3}$, ожидаемые ущербы от отказов подсистем $U_1 =15\cdot10^6$ руб., $U_2 = 42\cdot10^6$ руб., $U_3 = 12\cdot10^6$ руб., $U_4 = 28\cdot10^6$ руб.

Задача 3. Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия технической системы, состоящей из 5-и подсистем с независимыми равновозможными отказами $P = 10^{-3}$. Ожидаемые ущербы от отказов подсистем $U_1 = 15 \cdot 10^6$, $U_2 = 12 \cdot 10^6$, $U_3 = 22 \cdot 10^6$, $U_4 = 18 \cdot 10^6$, $U_5 = 25 \cdot 10^6$.

Задача 4. Защитное устройство дисковой пилы предотвращает 95 % несчастных случаев, а инструкция по охране труда – 98 % несчастных случаев. В определенном смысле – это параллельные мероприятия, составляющие подсистему И. Определить риск несчастного случая при эксплуатации дисковой пилы.

Задача 5. Если возгорание может произойти как от неосторожного курения, так и вследствие электростатического разряда, то мероприятия, предотвращающие эти причины надо рассматривать как последовательные. Инструктаж по пожарной безопасности с вероятностью 0,9 предотвращает курение в неположенном месте. Поддержание относительной влажности воздуха в помещении не ниже 70 % с вероятностью 0,93 устраняет возникновение электростатического разряда. Каков риск возникновения чепе, связанного с возгоранием в данном случае?

Задача 6. Ущерб от возможного пожара в первой организации оценивается в 2 млн долларов. В этой организации реализована система предотвращения пожаров, которая с вероятностью 0,99993 исключает возникновение и развитие пожара. Во второй организации ущерб от возникновения и развития пожара составляет 5 млн долларов, система предотвращения пожара исключает пожар с вероятностью 0,99999. В какой организации риск пожара выше?

4. Тесты для самоконтроля

1. Количественная оценка риска это

а) разработка и реализация решений по нормализации риска, а также текущий контроль риска

б) систематическое использование информации для определения источников риска

в) скоординированные действия по руководству и управлению организацией в отношении риска

г) процесс определения значений вероятности и последствий риска

д) действия, осуществляемые для выполнения решений в рамках менеджмента риска

2. 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

3. 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

4. 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

5. 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

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется после рассмотрения на практических занятиях соответствующих тем в форме тестовых заданий по отдельным темам в начале следующего практического занятия и занимает не более 7–10 минут.

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.

Кроме того, к началу следующего занятия студенты должны самостоятельно решить задачи из предложенных в учебно-методическом пособии практических заданий после изучения соответствующей темы. Оценка «зачтено» выставляется студенту, если количество правильных ответов составляет 50 и более %; оценка «не зачтено» выставляется студенту, если количество правильных ответов менее 50 %.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Евдокимова, Н.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / Н.А. Евдокимова; КГТУ. – Калининград: КГТУ, 2004. – 146 с.

2. Волкова, В.Н. Теория систем и системный анализ: учеб. / В.Н. Волкова: авт. А.А. Денисов. – Москва: Юрайт. 2010.- 680 с.

3. Антонов А.В. Системный анализ: учеб./А.В. Антонов. – Москва: Высш. шк., 2008. – 453 с.

4. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / В.Ф. Воскобоев. – Москва: Альянс. Ч.1: Надежность технических систем – 2014. – 200 с.

5. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. – Москва: Высш. шк., 2000. – 479 с.

6. Труханов, В.М. Надежность технических систем / В.М. Труханов. – Изд-во: Машиностроение-1, 2008. – 585 с.

7. Безопасность жизнедеятельности: учеб./ ред. С.В. Белов; авт. В.А. Девисилов, А.В. Ильницкая. – Москва: Высшая шк., 2006. – 616 с.

8. Алымов, В.Т. Техногенный риск: Анализ и оценка: учеб. пособие для вузов / В.Т. Алымов, Н.П. Тарасова. – Москва: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 118 с.

Локальный электронный методический материал

Евдокимова Наталья Анатольевна

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 5,3. Печ. л. 4,3.

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