

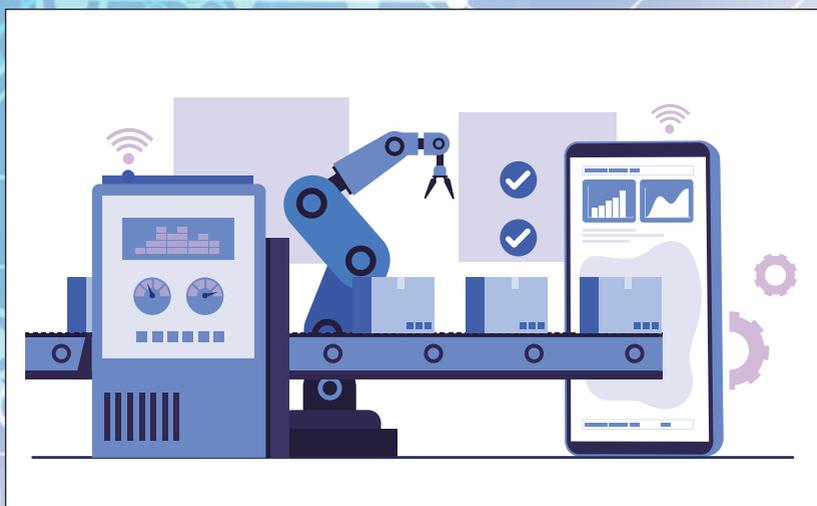


тольяттинский
государственный
университет

Е.В. Полякова

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

**Учебно-методическое
пособие**



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

Е.В. Полякова

**НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

Учебно-методическое пособие

Тольятти
Издательство ТГУ
2025

УДК 005.934(075.8)+62-192(075.8)

ББК 34.414я73

П 542

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Техносферная безопасность и управление качеством» Самарского государственного технического университета *Н.Г. Яговкин*;
канд. техн. наук, доцент, доцент института инженерной и экологической безопасности Тольяттинского государственного университета *А.В. Щипанов*.

П 542 Полякова, Е.В. Надежность технических систем и техногенный риск: учебно-методическое пособие / Е.В. Полякова. — Тольятти: Издательство ТГУ, 2025. — 161 с. — ISBN 978-5-8259-1755-9.

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом. Содержит методические и теоретические материалы, практические задания для изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск».

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность» очной и заочной форм обучения.

УДК 005.934(075.8)+62-192(075.8)

ББК 34.414я73

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© Полякова Е.В., 2025

ISBN 978-5-8259-1755-9

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский

государственный университет», 2025

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для изучения дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» для студентов направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность».

Цель изучения дисциплины — повышение качества подготовки специалистов по вопросам надежности технических систем путем углубленного изучения наиболее важных для будущей профессиональной деятельности вопросов теории и практики прогнозирования рисков и отказов технических систем в целом или ее частей.

Задачи:

- изучение понятийного аппарата современной теории надежности технических систем и техногенного риска, а также их технических приложений в сфере будущей профессиональной деятельности;
- изучение методов и средств обеспечения и повышения надежности техники в процессе ее разработки и эксплуатации для снижения риска нарушения безопасности.

По итогам изучения курса студент будет:

✓ *знать* современные аспекты техногенного риска; основные понятия надежности технических систем; математический аппарат анализа надежности и техногенного риска; основные показатели надежности и методы их определения; основные модели типа «человек – машина – среда»; зоны приемлемого риска;

✓ *уметь* оценивать риск и показатели надежности при эксплуатации технических систем, определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемой техники; рассчитывать риски и разрабатывать мероприятия по поддержанию их допустимых величин; определять стандартные статистические характеристики ЧС (аварий, несчастных случаев, катастроф); анализировать современные системы «человек – машина – среда» на всех стадиях цикла и идентифицировать опасности;

✓ *владеть* навыками работы в современных информационных системах, применения количественных методов анализа опасностей и оценки риска, применения методик качественного анализа опасностей сложных технических систем типа «человек – машина – среда».

Курс «Надежность технических систем и техногенный риск» базируется на дисциплинах «Высшая математика», «Экология», «Производственная безопасность». Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для изучения дисциплин «Методы оценки эффективности мероприятий по обеспечению техносферной безопасности», «Промышленная безопасность и производственный контроль».

Данный курс предусматривает изучение лекционного материала, выполнение практических работ и самостоятельное изучение специальной литературы по вопросам лекций.

Структура учебно-методического пособия представлена в таблице ниже и включает в себя два модуля, пять тем и девять практических работ.

Критерии и нормы оценки текущего контроля предполагают выставление оценки «зачтено» при грамотном выполнении всех практических работ, предусмотренных данным курсом, без серьезных замечаний. Критерии и нормы оценки промежуточной аттестации предполагают выставление оценки «зачтено» по накопительному рейтингу за выполнение всех практических заданий при изучении курса (практические работы, тестирование).

СТРУКТУРА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ

Наименование тем занятий (учебной работы)	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Модуль 1. Математический аппарат расчета надежности технических систем	
Тема 1.1. Понятие о надежности. Термины и определения	Устный опрос студентов
Тема 1.2. Состав и общие правила задания требований по надежности. Расчет надежности	Устный опрос студентов
Модуль 2. Методы анализа надежности технических систем и оценки рисков	
Тема 2.1. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Общие положения, методика проведения	Устный опрос студентов
Практическое занятие 1. Определение количественных характеристик надежности по статистическим данным об отказах изделия	Отчет о практической работе
Практическое занятие 2. Последовательное соединение элементов в систему. Расчет надежности системы с постоянным резервированием. Прогнозирование интенсивности отказов	Отчет о практической работе
Практическое занятие 3. Надежность станков в машиностроительной отрасли. Анализ видов, последствий и критичности отказов	Отчет о практической работе
Практическое занятие 4. Надежность оборудования нефтеперекачивающих станций. Анализ видов, последствий и критичности отказов	Отчет о практической работе
Практическое занятие 5. Надежность оборудования станций технического обслуживания автомобилей. Анализ видов, последствий и критичности отказов	Отчет о практической работе
Тема 2.2. Модели отказов	Устный опрос студентов
Тема 2.3. Анализ надежности различными методами. Методы анализа рисков	Устный опрос студентов

Наименование тем занятий (учебной работы)	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Практическое занятие 6. Анализ надежности системы с помощью методик «Дерево неисправностей», «Дерево событий», «Анализ видов и последствий отказов», «Диверсионный анализ»	Отчет о практической работе
Практическое занятие 7. Анализ надежности человеческого фактора. Методика «5 почему». Расчет техногенного риска	Отчет о практической работе
Практическое занятие 8. Анализ надежности системы с помощью методики «Древовидная диаграмма» и по методике «Галстук-бабочка»	Отчет о практической работе
Практическое занятие 9. Анализ надежности системы по радиальной диаграмме, с помощью диаграммы Парето, с помощью диаграммы Исикавы	Отчет о практической работе

КРИТЕРИИ И НОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Формы текущего контроля	Условия допуска	Критерии и нормы оценки
Проверка выполнения практических работ 1–9	Не предусмотрены	«Зачтено» – практическое задание выполнено грамотно или имеет несущественные замечания. «Не зачтено» – практическое задание не выполнено или имеет грубые ошибки

Форма проведения промежуточной аттестации	Условия допуска	Критерии и нормы оценки	
Зачет (по накопительному рейтингу)	Не предусмотрены	«Зачтено»	55–100 баллов
		«Не зачтено»	0–54 балла

Модуль 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Изучаемые темы

Тема 1.1. Понятие о надежности. Термины и определения.

Тема 1.2. Состав и общие правила задания требований по надежности. Расчет надежности.

Цель изучения модуля – формирование профессиональных компетенций у будущих бакалавров, ответственных за организацию ответственности документации по охране труда нормативным требованиям в организациях автомобильного кластера.

Задачи:

1. Освоение нормативной правовой базы в области надежности технических систем. Изучение состава и общих правил задания требований по надежности, терминов и определений в данной области.
2. Формирование навыков задания требований по надежности на различных стадиях жизненного цикла объектов, выбора номенклатуры задаваемых показателей надежности, выбора и обоснования значений показателей надежности, установления критериев отказов и предельных состояний, применение методов расчета надежности.

Изучив данный модуль, студент должен:

- иметь представление о составе и общих правилах задания требований по надежности;
- знать основные понятия и терминологию в области надежности технических систем; правила установления критериев отказов и предельных состояний; методы расчета надежности и общие рекомендации по их применению;
- владеть методами расчета надежности технических систем.

Нормативные документы:

- ГОСТ 27.003–2016 «Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности»;

- ГОСТ Р 27.102–2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения».

При освоении модуля необходимо изучить теоретический материал.

Краткие сведения по модулю

«4. Основные положения

4.1. Требования по надежности – это требования, установленные в нормативных документах (документах в области стандартизации) к количественным значениям показателей, характеризующих такие свойства объекта, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, которые определяют надежность объекта в целом.

4.2. При задании требований по надежности определяют (выбирают) и согласовывают между заказчиком (потребителем) и разработчиком (изготовителем – для серийно выпускаемой продукции) объекта:

- типовую модель эксплуатации (или несколько моделей), применительно к которой (которым) задают требования по надежности;

- критерии возможных отказов по каждой модели эксплуатации, применительно к которой задают требования по безотказности;

- закон распределения отказов;

- критерии предельных состояний объекта, применительно к которым установлены требования по долговечности и сохраняемости;

- понятие „выходной эффект“ для объектов, требования по надежности к которым установлены с использованием показателя „коэффициент сохранения эффективности“ $K_{эф}$. Коэффициент сохранения эффективности характеризует степень влияния отказов элементов объекта на эффективность его применения по назначению. При этом под эффективностью применения объекта по назначению понимают его свойство создавать некоторый полезный результат (выходной эффект) в течение периода эксплуатации в определенных условиях;

- номенклатуру и значения показателей надежности (далее – ПН) применительно к каждой модели эксплуатации;

- методы контроля соответствия объекта заданным требованиям по надежности (контроля надежности);

- требования и/или ограничения по конструктивным, технологическим и эксплуатационным способам обеспечения надежности, при необходимости – с учетом экономических ограничений;

- необходимость разработки программы обеспечения надежности.

4.3. Типовая модель эксплуатации объектов должна содержать:

- заданные режимы (этапы, виды) использования (эксплуатации) объектов;

- уровни внешних воздействующих факторов и нагрузок для каждого режима (этапа, вида) эксплуатации;

- характеристику принятой системы технического обслуживания и ремонта, включающую схему обеспечения запасными частями, инструментом и расходными материалами, укомплектованность ремонтной оснасткой и оборудованием, обслуживающим и проводящим ремонт персоналом требуемой квалификации.

Режимы и границы допустимых параметров (нагрузок), воздействующих на объект, принимают с учетом вероятности возникновения соответствующего режима и конкретных максимальных значений параметров (нагрузок).

4.4. Номенклатуру задаваемых ПН объекта выбирают в соответствии с положениями настоящего стандарта и согласовывают в установленном порядке между заказчиком (потребителем) и разработчиком (изготовителем – для серийно выпускаемой продукции).

4.5. Количество задаваемых ПН (номенклатура ПН) для объекта должно быть оптимальным. С точки зрения затрат на проверку, подтверждение и оценку заданных ПН при изготовлении и в эксплуатации их число должно быть минимальным. В то же время число заданных ПН должно максимально характеризовать надежность объекта на всех этапах его производства и эксплуатации. В целях оптимизации количества задаваемых ПН, особенно для сложных восстанавливаемых объектов, используют комплексные показатели надежности.

4.6. Для изделий, подлежащих перед началом или в процессе эксплуатации хранению (транспортированию), задают показатели сохраняемости. При этом должны быть определены и учтены условия и режимы хранения (транспортирования), применительно к которым задают указанные показатели.

4.7. Ограничения значений ПН, приводящие к снижению (или к невозможности повышения) надежности объекта, могут быть связаны с требованиями:

- к конструкции, например ограниченные конструктивно возможности по многократному дублированию и резервированию систем объекта, ограниченный состав запасных частей, инструмента и принадлежностей (далее – ЗИП), номенклатура разрешенных к применению комплектующих и материалов, применение в конструкции только стандартизированных и унифицированных крепежных элементов;

- технологического характера, например невозможность соблюдения допусков по требуемому качеству на имеющемся станочном оборудовании, ограниченность состава средств измерения и контроля, технологической оснастки и испытательного оборудования у потенциального изготовителя объекта;

- эксплуатационного характера, например ограниченность средств диагностирования технического состояния, ограниченность ресурса времени, необходимого для восстановления работоспособности объекта, низкая квалификация обслуживающего персонала предполагаемой эксплуатирующей организации;

- экономического характера, например ограниченность средств, расходуемых на изготовление, эксплуатацию, формирование ЗИП.

4.8. При задании требований по надежности определяют и согласовывают критерии отказа и предельного состояния объекта, которые необходимы для однозначной трактовки его состояния при анализе и учете статистических данных в ходе контроля численных значений ПН, связанных с безотказностью, долговечностью и сохраняемостью.

Критерии восстанавливаемости работоспособного состояния объекта устанавливают и согласовывают в случае, когда объект

признают восстанавливаемым (ремонтируемым) и необходимо задать ПН, связанные с ремонтпригодностью.

4.9. Для восстанавливаемых объектов, как правило сложных, задают комплексный ПН или определяющий его набор единичных показателей безотказности и ремонтпригодности, причем первый вариант задания требований является предпочтительным. По требованию заказчика в дополнение к комплексному показателю может быть задан один из определяющих его показателей безотказности или ремонтпригодности. Не допускается одновременное задание комплексного и всех определяющих его единичных показателей. Для показателей ремонтпригодности должны быть определены и учтены условия и виды восстановления, ремонта и технического обслуживания, применительно к которым задают указанные показатели.

4.10. Численные значения ПН, как правило, устанавливают на основании результатов расчета надежности, проводимого в ходе технико-экономического обоснования разработки объекта или на стадии формирования исходных технических требований (далее – ТТ) и разработки технического задания (далее – ТЗ) с использованием справочных значений показателей, ранее разработанных и эксплуатирующихся аналогов (прототипов) объекта и его составных частей. Численные значения ПН по согласованию с заказчиком корректируют по мере накопления статистических данных о надежности самого объекта или его аналогов (прототипов).

4.11. Для каждого задаваемого ПН должен быть определен и согласован метод его контроля или оценки. На стадии разработки используют, как правило, расчетные и расчетно-экспериментальные методы – проводят расчет надежности, ускоренные испытания на надежность опытных образцов, оптимизированных схемно-конструктивно с точки зрения надежности, конструкция которых максимально приближена к конструкции серийного образца, либо оценивают входе подконтрольной (опытной) эксплуатации. В серийном производстве и эксплуатации контроль и оценку соответствия ПН заданным требованиям в основном проводят экспериментальными методами, основанными на анализе и результатах математической обработки статистических данных по надежности, собранных в ходе

проведения периодических контрольных испытаний на надежность в заводских условиях и/или полученных в процессе реальных условий эксплуатации объекта (в ходе эксплуатационных испытаний).

4.12. Для проверки соответствия показателей надежности объекта установленным требованиям следует применять соответствующие методы планирования и обработки данных контроля (испытаний) по каждому показателю надежности отдельно. При этом объект соответствует требованиям по надежности тогда и только тогда, если все показатели надежности объекта соответствуют установленным к ним требованиям. <...>

4.13. Требования к конструктивным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования и/или ограничения по видам и кратности резервирования;

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

- требования к структуре и составу ЗИП;

- требования к системе технического диагностирования (контроля технического состояния);

- требования и/или ограничения по способам и средствам обеспечения ремонтпригодности и сохраняемости;

- ограничения по номенклатуре разрешенных к применению комплектующих и материалов;

- требования по применению стандартизованных или унифицированных комплектующих.

4.14. Требования к технологическим (производственным) способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования к точностным параметрам технологического оборудования и его аттестации;

- требования к стабильности технологических процессов, свойствам сырья, материалов, комплектующим;

- требования к необходимости, длительности и режимам технологического прогона объектов в процессе изготовления;

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

- требования к объему и форме представления информации о надежности, собираемой (регистрируемой) в ходе производства.

4.15. Требования к эксплуатационным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования к системе технического обслуживания и ремонтов;

- требования к алгоритму технического диагностирования (контроля технического состояния);

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

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

- требования к объему и форме представления информации о надежности, собираемой (регистрируемой) в ходе эксплуатации.

4.16. Требования по надежности включают:

- в ТТ, тактико-техническое задание (ТТЗ), ТЗ на разработку или модернизацию объектов;

- технические условия (далее – ТУ) на изготовление опытной и серийной продукции;

- стандарты общих технических требований (далее – ОТТ), общих технических условий (далее – ОТУ) и ТУ;

- эксплуатационные документы (далее – ЭД).

Требования по надежности могут включать в договоры на разработку и поставку объектов» [1].

Модуль 2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ОЦЕНКИ РИСКОВ

Изучаемые темы

Тема 2.1. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Общие положения, методика проведения.

Тема 2.2. Модели отказов.

Тема 2.3. Анализ надежности различными методами. Методы анализа рисков.

Цель изучения модуля — формирование профессиональных компетенций у будущих бакалавров по владению методами анализа надежности технических систем и оценки рисков.

Задачи:

1. Освоение нормативной правовой базы в области надежности технических систем и оценки рисков.
2. Формирование навыков проведения анализа надежности различными методами.

Изучив данный модуль, студент должен:

- иметь представление о правовых основах в области надежности технических систем и оценки рисков;
- знать основы проведения анализа видов, последствий и критичности отказов, методики проведения анализа, модели отказов;
- владеть нормативными документами по разработке, применению, анализу надежности различными методами, методами анализа рисков.

Нормативные документы:

- ГОСТ 27.310–95 «Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения»;
- ГОСТ Р 27.004–2009 «Надежность в технике. Модели отказов»;
- ГОСТ Р 51901.5–2005 (МЭК 60300-3-1:2003) «Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности»;

- ГОСТ Р 51901.1–2002 «Государственный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем»;
- ГОСТ Р МЭК 31010–2021 «Национальный стандарт Российской Федерации. Надежность в технике. Методы оценки риска».

При освоении модуля необходимо:

- изучить теоретический материал;
- выполнить практические работы 1–8;
- сдать отчет по практическим заданиям 1–8.

Краткие сведения по модулю

«Прогнозирование интенсивности отказов

А.1.1.1 Описание и цель

Прогнозирование интенсивности отказов является методом, который применяют главным образом на ранних стадиях проектирования для оценки интенсивности отказов оборудования и системы. Он может быть использован также на стадии производства при необходимости улучшения количества продукции.

Для прогнозирования используют один из трех основных методов:

- метод прогнозирования интенсивности отказов в исходных условиях, называемый количественным анализом частей;
- метод прогнозирования интенсивности отказов в эксплуатационных режимах, называемый анализом напряжений частей;
- метод прогнозирования интенсивности отказов, использующий анализ подобия.

Выбор метода зависит от объема имеющейся информации о системе, а также от необходимой точности аппроксимации.

А.1.1.2 Прогнозирование интенсивности отказов в исходных условиях и прогнозирование интенсивности отказов в эксплуатационных режимах

В этих случаях необходимо знать количество и тип компонентов, входящих в систему, а также параметры эксплуатационных режимов, для которых проводится прогнозирование интенсивности отказов. Если параметры эксплуатационных режимов для компо-

нентов совпадают с параметрами исходных условий, то записи об эксплуатационных режимах не делают. Однако если параметры эксплуатационных режимов отличаются от параметров исходных условий, то принимают во внимание используемые условия и режимы для компонента (электрические, тепловые, окружающей среды и т. п.). Для этого должны быть использованы специально разработанные модели. Для точного прогноза необходима надежная база данных интенсивности отказов. Необходимые вычисления могут занять много времени, поэтому рекомендуется применять соответствующие программные средства.

Прогнозирование интенсивности отказов основано на следующих предположениях:

- компоненты соединены в системе последовательно (то есть отказ каждого компонента приводит к отказу системы);
- интенсивность отказов каждого компонента постоянна;
- отказы компонентов являются независимыми.

Эти предположения относительно исследуемой системы должны быть тщательно рассмотрены, так как ошибочное использование метода может привести к появлению опасных ошибок.

Предположение, что интенсивности отказов компонентов являются постоянными, сокращает количество вычислений, так как в этом случае интенсивность отказов системы является суммой интенсивностей отказов компонентов. Интенсивность отказов системы не всегда является значимой характеристикой надежности системы, поскольку не все отказы воздействуют на систему одинаково. Отказы диагностических элементов и некоторые режимы неисправностей могут не влиять на функционирование системы. В этом случае интенсивность отказов системы является лишь мерой количества корректирующих действий технического обслуживания независимо от того, связаны они с отказами системы или нет.

Точность прогноза характеристик надежности системы зависит от доступных моделей отказов компонентов. Все вышеуказанное относится также к прогнозированию интенсивности отказов в эксплуатационных режимах.

А.1.1.3 Прогнозирование интенсивности отказов с использованием анализа подобия

Анализ подобия включает использование для прогнозирования надежности данных эффективности оборудования при эксплуатации для сравнения характеристик вновь разработанного оборудования с характеристиками оборудования-прототипа.

Сравнения характеристик аналогичного оборудования могут быть сделаны на уровне элемента, подсистемы или компонента. При этом используют одни и те же данные эксплуатации, но применяют различные алгоритмы и расчетные коэффициенты.

Сопоставляемые элементы могут включать:

- условия эксплуатации окружающей среды (измеренные и заданные);
- характеристики проекта;
- процессы проекта;
- процессы обеспечения надежности;
- процессы производства;
- процессы технического обслуживания;
- компоненты и материалы.

Для каждого вышеупомянутого элемента необходимо сопоставлять все их характеристики. Например, условия эксплуатации и условия окружающей среды могут включать установившуюся температуру, влажность, температурные изменения, электрическую мощность, цикл режима работы, механическую вибрацию и т. д. Характеристики проектируемого оборудования могут включать количество компонентов, количество монтажных плат, схемы, размеры, массу, материалы и т. д.

Анализ подобия включает необходимые алгоритмы или расчетные методы для определения количества подобий и различий между исследуемым оборудованием и оборудованием-прототипом.

Анализ подобия элемента применяют в случае, когда оборудование-прототип имеет различия или недоступно для сравнения с вновь разработанным исследуемым оборудованием. Анализ подобия элемента – это структурированное сравнение элементов нового оборудования с подобными элементами ряда различных прототипов оборудования, для которых имеются данные надежности.

А.1.1.4 Достоинства:

- если имеются соответствующие данные, время и стоимость анализа будут очень небольшими;
- анализ адаптирован к ранним этапам проектирования и разработки, поскольку для него достаточно небольшого количества входной информации и данных;
- основная информация о надежности компонента получена на ранних этапах проектирования и разработки;
- метод адаптирован как к ручному, так и к компьютерному вычислениям;
- применение метода не требует специального обучения.

А.1.1.5 Ограничения:

- метод не применяют для систем с резервированием;
- из-за недостатка исходной информации уровень точности прогноза может быть низким, особенно для небольших подсистем и производств (для повышенной точности требуются большие выборки);
- оценка режимов и последствий отказов невозможна» [5].

Надежность станков в машиностроительной отрасли. Анализ видов, последствий и критичности отказов

«6.1 Анализ видов, последствий и критичности отказов (АВПКО) проводят одним из следующих методов:

- структурным;
- функциональным;
- комбинированным.

6.2 Структурные методы АВПО (АВПКО) относят к классу индуктивных методов (анализ „снизу вверх“), применяемых для относительно простых объектов, отказы которых могут быть четко локализованы, а последствия каждого отказа элементов выбранного начального уровня разукрупнения могут быть прослежены на всех вышестоящих уровнях структуры объекта.

Общая схема (алгоритм) АВПО (АВПКО) структурным методом включает следующие основные операции:

- в соответствии с планом анализа устанавливают минимальный уровень разукрупнения, с которого начинают АВПО;

– на основе функциональной блок-схемы объекта идентифицируют все элементы выбранного уровня разукрупнения;

– для каждого идентифицированного элемента данного уровня на основе имеющихся классификаторов отказов, инженерного анализа, имеющихся априорных данных, опыта и знаний исследователя составляют перечень возможных видов отказов данного элемента;

– для каждого вида отказов выбранного элемента определяют его возможные последствия на рассматриваемом и следующих уровнях структуры объекта;

– для элементов, отказы которых определенного вида непосредственно приводят к отказу объекта или снижению качества его функционирования, оценивают категорию тяжести последствий отказов (при АВПО) или рассчитывают показатели критичности (при АВПКО);

– повторяют описанные выше операции последовательно для элементов всех вышестоящих уровней разукрупнения. Последствия отказов элементов нижестоящего уровня, которые не могут быть выражены в виде влияния на функционирование элементов рассматриваемого уровня, рассматривают как самостоятельные виды отказов на этом уровне;

– выделяют отказы, категория тяжести последствий или оценки показателей критичности которых превосходят пределы, установленные планом анализа, а элементы, соответствующие этим отказам, включают в перечень критичных элементов.

Для каждого критичного элемента:

– определяют наличие и оценивают достаточность предусмотренных средств и методов обнаружения, локализации и индикации отказов;

– определяют возможные меры, обеспечивающие сохранение работоспособности объекта при возникновении данного отказа (введение резервирования, перестраиваемая структура, изменение алгоритма функционирования) и оценивают целесообразность их введения;

– определяют возможные меры по снижению вероятности отказов (применение в облегченном режиме, введение защиты от

перегрузок, дополнительных проверок и испытаний в процессе изготовления и эксплуатации, введение профилактического обслуживания и плановых замен в эксплуатации и т. п.) и оценивают их эффективность;

- определяют возможные способы предупреждения наиболее опасных последствий отказов (аварийная защита и сигнализация, специальные правила поведения персонала при возникновении отказов и т. п.).

Примечание. При углубленном анализе возможно рассмотрение на каждом уровне разукрупнения комбинаций отказов двух и более элементов.

6.3 Функциональные методы АВПО (АВПКО) относят к классу дедуктивных (анализ по схеме „сверху вниз“) методов, применяемых для сложных многофункциональных объектов, отказы которых трудно априорно локализовать и для которых характерны сложные зависимые отказы.

Общая схема (алгоритм) АВПО (АВПКО) функциональным методом включает следующие операции:

- идентифицируют все функции, выполняемые объектом;
- для каждой функции на основе априорных данных, опыта исследователя, инженерного анализа и другими доступными способами определяют перечень возможных нарушений (отклонений) данной функции;
- для каждого нарушения функции оценивают качественно тяжесть возможных последствий этого нарушения (через АВПО) или количественно – ожидаемый ущерб (при АВПКО).

Выделяют критические нарушения функции, тяжесть возможных последствий которых или ущерб от которых превосходит пределы, установленные планом анализа:

- для каждого выделенного критического нарушения, принимая его возникновение в качестве „вершинного события“, строят дерево отказов, охватывающее отказы элементов всех уровней разукрупнения, вплоть до нижнего уровня, установленного планом анализа;
- с помощью построенного дерева выделяют одиночные элементы, приводящие к критическому нарушению функций изделия,

и сочетания элементов, совместные отказы которых ведут к указанному нарушению;

- оценивают вероятности отказов одиночных элементов и вероятности выделенных комбинаций отказов элементов, с использованием которых при проведении АВПКО рассчитывают показатели критичности соответствующих отказов (сочетаний отказов);

- составляют перечни критичных элементов в соответствии с общими правилами.

6.4 Для сложных объектов АВПКО (АВПО) проводят, как правило, комбинированными методами, сочетающими элементы структурных и функциональных методов.

6.5 Независимо от применяемого метода АВПО (АВПКО) в качестве первого этапа анализа включают:

- составление перечня и описаний всех задач, выполняемых объектом в эксплуатации, и необходимых для реализации каждой задачи рабочих функций объекта в целом и его элементов вплоть до установленного для данного этапа анализа или предельно возможного уровня разукрупнения. При этом идентифицируют все элементы заданного и вышестоящего уровней, участвующие в выполнении каждой функции объекта;

- кодирование каждой функции и элементов объектов в соответствии с установленной системой кодирования;

- описание режимов и условий выполнения каждой задачи в виде временных диаграмм и циклограмм нагружения объекта и его элементов;

- составление функциональной блок-схемы объекта и структурной схемы его надежности» [3].

Рассмотрим анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы (анализ дерева неисправностей (FTA)).

«FTA представляет собой совокупность качественных или количественных приемов, при помощи которых выявляются методом дедукции, выстраиваются в логическую цепь и представляются в графической форме те условия и факторы, которые могут способствовать определенному нежелательному событию (называемому вершиной событий). Неисправностями или авариями, идентифи-

цируемыми в дереве неисправностей, могут быть события, связанные с повреждениями механической конструкции компонента, ошибками персонала или любыми другими событиями, которые влекут за собой нежелательное событие. Начиная с вершины событий, выявляются возможные причины или аварийные состояния следующего, более низкого функционального уровня системы. Последующая поэтапная идентификация нежелательного функционирования системы в направлении последовательно снижающихся уровней системы приводит к искомому уровню системы, которым является аварийное состояние компонента. Для построения дерева неисправностей используются символы, указанные в таблице 1» [5].

Таблица 1

Символы, используемые при изображении дерева неисправностей [5]

Символ	Наименование символа	Описание символа
	Вершина событий	Вершина событий, соответствующая неисправности системы
	Промежуточное событие	Промежуточное событие, соответствующее неисправности более высокого уровня, чем события основного уровня
	Основное событие	Основное событие, для которого имеется информация о надежности
	Неразработанное событие	Часть системы, которая не разработана
	Клапан перехода	Клапан, указывающий, что эта часть системы разрабатывается в другой части или на другой странице диаграммы
	Клапан ИЛИ	Событие выхода происходит, если происходят все события входа одновременно

«FTA предоставляет возможность подхода, который является в высокой степени системным, но в то же время достаточно гибким

для того, чтобы обеспечить возможность анализа множества факторов, включая взаимодействия людей и физические явления. Применение подхода по принципу „сверху вниз“, неявного по своей методике, концентрирует внимание на тех воздействиях неисправности или аварии, которые имеют непосредственное отношение к вершине событий. Это является определенным преимуществом, несмотря на то, что может стать и причиной утраты тех воздействий, которые являются существенно важными где-нибудь еще. FTA особенно полезен для анализа систем с множеством областей контакта и взаимодействий. Графическое представление приводит к тому, что можно без особого труда понять поведение системы и поведение включенных в него факторов, но поскольку размер деревьев зачастую велик, обработка деревьев неисправностей может потребовать применения компьютерных систем. Эта отличительная черта также затрудняет проверку дерева неисправностей.

FTA можно использовать для идентификации опасностей, хотя в первую очередь он используется при оценке риска в качестве инструмента для оценки вероятностей или частот неисправностей и аварий» [6].

Рассмотрим анализ диаграммы возможных последствий события (анализ дерева событий (ETA)).

«ETA представляет собой совокупность количественных или качественных приемов, которые используются для идентификации возможных исходов инициирующего события и, если это требуется, их вероятностей. ETA широко используется для объектов, характеризующихся особенностями проекта, которые способствуют снижению аварийности и позволяют выявлять последовательности событий, которые, в свою очередь, приводят к появлению определенных последствий инициирующего события. Предполагается, что каждое событие в последовательности представляет собой либо исправность, либо неисправность. Простое дерево событий для взрыва пыли с указанными на нем вероятностями представлено на рисунке 3. Следует отметить, что вероятности на дереве событий являются условными. Например, вероятность функционирования разбрызгивателя не является вероятностью, полученной на осно-

вании испытаний при нормальных условиях, а является вероятностью функционирования в условиях пожара, вызванного взрывом.

ETA представляет собой индуктивный тип анализа, в котором основным задаваемым вопросом является „что случится, если...?“. Он обеспечивает взаимосвязь между функционированием (или отказом) разнообразных смягчающих систем и опасным событием, следующим после того, как происходит единичное инициирующее событие. ETA очень полезен при выявлении событий, которые требуют дальнейшего анализа с использованием FTA (то есть вершины событий деревьев неисправностей). Для того чтобы иметь возможность сделать исчерпывающую оценку риска, требуется идентифицировать все потенциальные инициирующие события. При данном методе тем не менее всегда существует вероятность упустить из виду некоторые важные инициирующие события. Более того, в случае деревьев событий мы имеем дело только с состояниями успеха и отказа. Возникает трудность с включением запаздывающего успеха или возвратных событий.

ETA может быть использован как для идентификации опасности, так и для вероятностной оценки последовательности событий, влекущих за собой опасные ситуации» [6].

«Анализ видов и последствий отказов (FMEA) является восходящим методом анализа надежности, который обычно применяют для изучения материала, компонентов, отказов оборудования и их воздействий на следующий более высокий функциональный уровень системы. Итерации этих шагов (идентификация одиночных режимов отказов и оценка их воздействия на следующий, более высокий уровень системы) заканчиваются идентификацией всех режимов единичных отказов системы. FMEA может быть использован для анализа систем, использующих технологии с простыми функциональными структурами отказов (электрические, механические, гидравлические, программные и т. д.). Анализ видов, последствий и критичности отказов (FMECA) расширяет FMEA, определяя количество последствий отказа через вероятности появления и серьезности последствий. Серьезность последствий оценивают в соответствии с заданной шкалой.

FMEA и FMECA обычно применяют в случаях, когда уровень риска выявляется на ранних уровнях разработки продукции. Их применяют для новых технологий, процессов, проектов или при изменениях условий окружающей среды, нагрузок или инструкций. FMEA или FMECA могут быть применены для компонентов или систем, которые представляют собой продукцию, процессы или производственное оборудование. Они также могут быть применены к системам программного обеспечения.

FMEA или **FMECA** состоят из следующих этапов:

- идентификация требований к функционированию компонента системы;
- идентификация потенциальных видов, последствий и причин отказов;
- идентификация риска, связанного с видами и последствиями отказа;
- идентификация рекомендуемых действий для устранения или уменьшения риска;
- завершающие действия.

Достоинства методики:

- систематическая идентификация отношений причин и последствий;
- начальная индикация тех видов отказов, которые, возможно, могут быть критическими, особенно отказов, которые могут повторяться;
- идентификация результатов определенных причин или событий, которые являются важными;
- обеспечение порядка идентификации мер по снижению риска;
- возможность использования в предварительном анализе новых или неиспытанных систем или процессов.

Недостатки методики:

- объем выходных данных может быть большим, даже для относительно несложных систем;
- метод может стать сложным и неуправляемым, если нет четкой связи между причиной и последствиями;
- метод не предназначен для анализа временных последовательностей, процессов восстановления, условий окружающей среды, аспектов технического обслуживания и т. д.;

– первоначальная модель критичности усложняется за счет включения конкурирующих факторов» [6].

«**Анализ надежности человеческого фактора (HRA)** является частью анализа человеческого фактора, который включает распределение функций, задач и ресурсов среди людей и машин и оценку надежности действий человека. Анализ человеческого фактора не является самостоятельной дисциплиной. В этом методе используются такие дисциплины, как психология, физиология, социология, медицина и проектирование.

Специфическая цель анализа человеческого фактора состоит в том, чтобы оценить факторы, которые могут воздействовать на надежность действий человека при эксплуатации системы (анализ надежности человеческого фактора). Надежность человека необходима для успешной работы системы „человек – машина“ в условиях воздействия различных факторов. Эти факторы могут быть внутренними (напряжение, эмоциональное состояние, обучение, побуждения и опыт) или внешними (часы работы, среда, действия диспетчеров, процессов, аппаратных средств).

Влияние человеческого фактора должно быть определено на всех стадиях разработки системы от проекта до обучения, эксплуатации и демонтажа. Метод применим для рассмотрения системы в целом (включая управление при эксплуатации) и взаимодействия отдельных работников при эксплуатации системы.

При решении любой задачи, выполняемой человеком, возникает возможность возникновения человеческой ошибки. После идентификации этих задач необходимо идентифицировать вероятные ситуации возникновения человеческих ошибок. Метод HRA является методом FMEA для задач, связанных с человеческим фактором.

Часто для решения этих задач используют анализ дерева событий. Дерево событий отражает информацию анализа задачи и определяет схему количественной оценки комбинации отказов.

Типичными элементами анализа надежности человеческого фактора являются:

- описание персонала, условий его работы и выполняемых задач;
- анализ интерфейсов „человек – машина“;
- анализ эффективности функций оператора;

- анализ ошибки человека при выполнении заданных функций;
- документирование результатов.

Достоинства метода

Анализ неудач и несчастных случаев показывает, что надежность человеческого фактора является ключевым моментом надежности системы „человек — машина“. Если учитывать человеческий фактор, прогноз надежности системы может быть ложным.

Ограничения применения

Проведение анализа надежности человеческого фактора системы требует глубокого знания параметров эффективности действий человека.

Если необходимые данные отсутствуют, количественный анализ должен быть основан на экспертной оценке вероятностей человеческих ошибок.

Анализ человеческого фактора редко является частью разработки надежности системы, и иногда сложно убедить руководителей проекта начать анализ человеческого фактора или анализ надежности человека» [5].

Анализ надежности человеческого фактора. Методика «5 почему». Расчет техногенного риска

Методика «5 почему» применяется в различных областях человеческой деятельности в процессе анализа проблем и поиска первопричин их возникновения. «5 почему» — эффективный инструмент, использующий вопросы для изучения причинно-следственных связей, лежащих в основе конкретной проблемы, определения причинных факторов и выявления первопричины. При рассмотрении логики в направлении «почему?» постепенно раскрывается вся цепь последовательно связанных между собой причинных факторов, оказывающих влияние на проблему. Цифра «5» условна. В действительности вы можете обнаружить, что придется задать вопрос меньше или больше пяти раз, выстраивая логическую цепочку, прежде чем вы сможете установить первопричину проблемы. Поиск ответов на вопросы, входящие в логическую цепочку, позволяет структурировать исследовательскую ситуацию, то есть выработать методику эффективного анализа рассматриваемой проблемы.

Последовательно отвечая на вопрос «почему?», находим причины возникшей проблемы. После выявления причины возникновения проблемы необходимо предложить меры по ее устранению.

Достоинства метода:

- один из простейших инструментов;
- помогает установить первопричину проблемы;
- определяет взаимосвязи между различными причинами проблемы.

Недостатки метода:

- решение только простых задач;
- не рассматривается логическая проверка цепочки причин, ведущих к первопричине, то есть в данном инструменте отсутствуют правила проверки в обратном направлении от первопричины к результатам.

Однако, несмотря на приведенные недостатки, методика позволяет получать информацию, необходимую для принятия решений.

Количественная оценка риска – это процесс оценки численных значений вероятности и последствий нежелательных событий и явлений.

Анализ надежности системы с помощью методики «Древовидная диаграмма» и по методике «Галстук-бабочка»

«Причинно-следственный анализ является структурированным методом идентификации возможных причин нежелательного события или проблемы. Данный метод позволяет скомпоновать возможные причинные факторы в обобщенные категории так, чтобы можно было исследовать все возможные гипотезы. Однако применение этого метода позволяет идентифицировать фактические причины. Причины могут быть определены только на основе эмпирических данных или эмпирическим путем. Информацию представляют в виде диаграммы „Рыбий скелет“ или в виде древовидной схемы. <...>

Причинно-следственный анализ обеспечивает структурированное графическое представление перечня причин одного следствия. В зависимости от объекта исследований следствие может быть положительным (цель) или отрицательным (проблема).

Метод используют для исследования всех возможных сценариев и причин, предложенных группой экспертов. Метод позволяет достичь согласованного мнения относительно наиболее вероятных причин, которые могут быть далее проверены опытным путем, или на основе имеющихся данных. Наиболее целесообразно применять данный метод в самом начале анализа, что позволяет расширить диапазон представлений о возможных причинах, а затем сформулировать гипотезы, которые далее следует рассмотреть в соответствии с установленной процедурой.

Построение причинно-следственной диаграммы позволяет:

- идентифицировать возможные первопричины и/или основные причины для определенного следствия, проблемы или условия;
- провести анализ ситуации и найти взаимосвязь между взаимодействующими факторами, связанными с исследуемым процессом;
- провести анализ существующих проблем для принятия корректирующих действий.

Преимуществами построения причинно-следственной диаграммы являются:

- содействие определению первоначальных причин проблемы с применением структурированного подхода;
- содействие в работе группе экспертов и более полному использованию знаний экспертов о продукции или процессе;
- применение простого для восприятия типа диаграммы для отображения причинно-следственных связей;
- выявление возможных причин изменений в процессе;
- идентификация областей сбора данных для дальнейших исследований.

Причинно-следственный анализ может быть использован как метод выполнения анализа первопричины. <...>

Входными данными причинно-следственного анализа являются результаты экспертизы, опыт участников рабочей группы, ранее разработанные модели, использованные в предыдущих исследованиях. <...>

Основными этапами причинно-следственного анализа являются:

– установление следствия, которое необходимо проанализировать, и размещение его справа в соответствующем блоке диаграммы. Следствие может быть положительным (цель) или отрицательным (проблема) в зависимости от обстоятельств;

– определение основных (главных) категорий причин. При анализе систем обычно выделяют следующие категории причин: персонал, оборудование, рабочая среда, процессы и др. Категории определяют в соответствии с объектом исследования;

– указание возможных причин для каждой основной (главной) категории;

– продолжение исследования путем итеративной постановки вопросов „почему?“ или „что это вызвало?“ для установления связей между причинами;

– анализ всех ветвей и ответвлений, направленный на проверку последовательности и полноты выявленных причин и их отношения к основному следствию;

– идентификация наиболее вероятных причин данного следствия. <...>

Изображение данной диаграммы в виде древовидной схемы аналогично дереву неисправностей, но обычно эту диаграмму строят слева направо, а не сверху вниз. Однако при применении данной диаграммы бывает затруднительно представить результат в количественном выражении и оценить вероятность главного события, поскольку причины в большей степени понимают как возможные факторы, которые могут вызвать рассматриваемое событие, а не отказы с известной вероятностью возникновения.

Причинно-следственную диаграмму обычно применяют для определения качественных оценок. Можно предположить, что вероятность возникновения проблемы составляет 1, и распределить вероятности по обобщенным причинам, затем по подпричинам, основываясь на степени доверия или значимости. Однако зачастую между факторами, которые могут вызвать события, существует взаимосвязь, она способствует возникновению результата более сложным способом, что делает количественную оценку недостоверной. <...>

Анализ „Галстук-бабочка“ представляет собой схематический способ описания и анализа пути развития опасного события от причин до последствий. Данный метод сочетает исследование причин события с помощью дерева неисправностей и анализ последствий с помощью дерева событий. Однако основное внимание метода „Галстук-бабочка“ сфокусировано на барьерах между причинами и опасными событиями и опасными событиями и последствиями. Диаграммы „Галстук-бабочка“ могут быть построены на основе выявленных неисправностей и деревьев событий, но чаще их строят непосредственно в процессе проведения мозгового штурма. <...>

Анализ „Галстук-бабочка“ используют для исследования риска на основе демонстрации диапазона возможных причин и последствий. Метод следует применять в ситуации, когда сложно провести полный анализ дерева неисправностей или когда исследование в большей мере направлено на создание барьеров или средств управления для каждого пути отказа. Метод может быть полезен в ситуации, когда существуют точно установленные независимые пути, приводящие к отказу.

Анализ „Галстук-бабочка“ часто значительно более прост для понимания, чем анализ дерева событий или дерева неисправностей, и, следовательно, он может быть полезен для обмена информацией при использовании более сложных методов. <...>

Входными данными метода является информация о причинах и последствиях опасных событий, риске, барьерах и средствах управления, которые могут их предотвратить, смягчить или стимулировать. <...>

Анализ „Галстук-бабочка“ следует строить в соответствии со следующей процедурой:

- определение опасного события, выбранного для анализа, и отображение его в качестве центрального узла „Галстук-бабочка“;
- составление перечня причин события с помощью исследования источников риска (или опасности);
- идентификация механизма развития опасности до критического события;
- проведение линии, отделяющей причину от события, что позволяет сформировать левую сторону бабочки. Дополнительно

могут быть идентифицированы и включены в диаграмму факторы, которые могут привести к эскалации опасного события и его последствий;

- нанесение поперек линии вертикальных преград, соответствующих барьерам, предотвращающим нежелательные последствия. Если определены факторы, которые могут вызвать эскалацию опасного события, то дополнительно могут быть представлены барьеры, предупреждающие подобную эскалацию. Данный подход может быть использован для положительных последствий, когда преграды отражают средства управления, стимулирующие появление и развитие события;

- идентификация в правой стороне бабочки различных последствий опасного события и проведение линий, соединяющих центральное событие с каждым возможным последствием;

- изображение барьеров в качестве преград по направлению к последствию. Данный подход может быть использован для положительных последствий, когда преграды отражают средства управления, обеспечивающие появление благоприятных последствий;

- отображение под диаграммой „Галстук-бабочка“ вспомогательных функций управления, относящихся к средствам управления (таких как обучение и проверки), и соединение их с соответствующим средством управления.

В диаграмме „Галстук-бабочка“ могут быть применены некоторые виды количественной оценки, например в ситуации, когда пути независимы и известна вероятность конкретных последствий или результатов. Подобная количественная оценка необходима для обеспечения эффективности управления. Однако необходимо учитывать, что во многих ситуациях пути и барьеры взаимосвязаны и средства управления могут быть связаны с выбранным методом оценки, следовательно, эффективность управления является неопределенной. Количественную оценку для анализа „Галстук-бабочка“ часто выполняют с помощью методов FTA и ETA. <...>

Выходными данными метода является простая диаграмма, показывающая основные пути опасных событий и установленные барьеры, направленные на предотвращение или смягчение неже-

лательных последствий и/или усиление и ускорение ожидаемых последствий. <...>

Преимущества метода „Галстук-бабочка“:

- обеспечивает наглядное, простое и ясное графическое представление проблемы;
- ориентирован на средства управления, направленные на предупреждение и/или уменьшение последствий опасных событий и оценку их эффективности;
- может быть применен в отношении благоприятных последствий;
- применение метода не требует привлечения высококвалифицированных экспертов;
- не позволяет отобразить совокупности причин, возникающих одновременно и вызывающих последствия (случай, когда в дереве неисправностей, отражающем левую сторону диаграммы, находится логический элемент «И»);
- может представить сложные ситуации в чрезмерно упрощенном виде, особенно при применении количественной оценки» [8].

Барьеры, изображенные на диаграмме, фактически являются перечнем тех мероприятий, которые следует внедрить для предотвращения данного нежелательного события.

Анализ надежности системы по радиальной диаграмме, с помощью диаграммы Парето, с помощью диаграммы Исикавы

Радиальная диаграмма используется для наглядного сопоставления различных значений статистической совокупности, изменяющихся во времени.

Особенности построения лучевой диаграммы:

1. В качестве точки отсчета служит точка начала координат.
2. Из точки начала координат через определенный угол выходят лучи.
3. На каждом луче последовательно откладываются отрезки, длина которых должна быть прямо пропорциональна статистическим значениям, имеющимся в нашем распоряжении.

Часто такого типа диаграммы используют для проведения анализа имеющейся в распоряжении статистической информации.

«Анализ Парето является одним из семи основных инструментальных средств управления качеством (листы проверки, диаграмм-

мы Парето, диаграммы Исикавы, диаграммы последовательности операций, гистограммы, графики рассеивания и контрольные карты). Эти инструментальные средства находят применение при разработке надежности. Принцип Парето устанавливает, что небольшое подмножество проблем происходит намного чаще, чем все остальные („полезное большинство“). Этот принцип можно сформулировать следующим образом: „20 % причин вызывают 80 % проблем“.

Цель анализа Парето состоит в том, чтобы сосредоточить усилия на тех проблемах, которые имеют самый высокий потенциал для улучшения и помогают в распределении ресурсов, чтобы использовать их там, где они наиболее эффективны.

Диаграмма Парето является одним из наиболее часто используемых инструментальных средств улучшения. С помощью диаграммы определяют относительную важность проблемы в наглядной форме. Кроме того, диаграмма помогает предотвращать „смещение проблемы“, когда ее решение устраняет одни проблемы, но усугубляет другие. С помощью диаграммы можно учесть воздействие изменения проекта на эффективность изделия путем управления изменениями следующим образом:

- путем разделения главной причины на категории (высшую полосу делят на подпункты в соответствующей диаграмме Парето);
- путем изображения новых полос Парето рядом с оригиналом Парето (при этом показывают воздействия изменений);
- путем замены источника данных (данные, собранные по той же проблеме, но из различных источников (система/оборудование, расположение, заказчик и т. д.), отображаются рядом с диаграммой Парето);
- путем изменения измерений (используют те же самые характеристики, но измеренные другим способом). <...>

Анализ Парето может быть использован на всех стадиях программы надежности, от концепции и определения, проектирования и разработки, производства и инсталляции до эксплуатации и технического обслуживания. <...>

Для эффективного применения анализа Парето требуется следующее:

- решить, о какой проблеме вы хотите больше знать (то есть об от-казах или их причинах);
- выбрать причины или проблемы, которые необходимо отслежи-вать, сравнивать и ранжировать (с помощью существующих дан-ных, мозгового штурма, экспериментов);
- выбрать наиболее значимый параметр для измерений, например частоту или цену;
- выбрать период времени для исследований;
- составить список исследуемых данных, расположив их в порядке убывания;
- вычислить общее количество всех элементов и процентный вклад каждого элемента;
- начертить гистограмму, нанося категории на горизонтальную линию, а частоты (или затраты) – на вертикальную линию;
- изобразить общую кривую, если это возможно;
- нанести на диаграмму соответствующие обозначения;
- интерпретировать результаты.

Достоинства анализа Парето:

- эффективное графическое представление анализа проблемы;
- анализ очень прост и не требует много времени и усилий;
- может быть использован для принятия решений как в техниче-ских, так и в других областях.

Ограничения:

- анализ Парето служит инструментом для улучшения обзора дан-ных. Исследование причин проблемы должно проводиться экс-пертами, использующими любые необходимые методы;
- к анализу должны привлекаться опытные специалисты. <...>

Диаграмма причин и следствий называется диаграммой Исика-вы (в честь ее создателя) или диаграммой рыбьего скелета (из-за ее формы). Диаграмма обеспечивает наглядное представление списка идентифицированных и систематизированных возможных причин проблем или факторов, необходимых для обеспечения работоспо-собного состояния или отказа системы. Диаграмма эффективна при изучении процессов и ситуаций, а также при планировании. Она позволяет легко увидеть отношения между факторами. Диа-

грамма причин и следствий обычно создается методом мозгового штурма. В результате диаграмму часто изображают вручную на бумаге. Однако существуют пакеты программ, пригодных для составления диаграммы» [5].

«Инструкция по выполнению.

1. Определяется потенциальная или существующая проблема, требующая разрешения.

2. Формулировка проблемы размещается в прямоугольнике с правой стороны листа бумаги...

3. От прямоугольника влево проводится горизонтальная линия (рис. 1*). <...>



Рис. 1. Первые этапы построения диаграммы Исикавы

4. По краям листа с левой стороны обозначаются ключевые категории причин, влияющих на исследуемую проблему (рис. 2). Следует отметить, что:

1) количество категорий может изменяться в зависимости от рассматриваемой проблемы;

2) как правило, используются пять или шесть категорий из приведенного выше списка (человек, методы работы, механизмы, материал, контроль, окружающая среда). <...>



Рис. 2. Обозначение ключевых категорий причин на диаграмме

5. От названий каждой из категорий причин к центральной линии проводятся наклонные линии. Они будут являться основными ветвями диаграммы Исикавы (рис. 3). <...>

* Номера данного и последующих рисунков изменены автором.

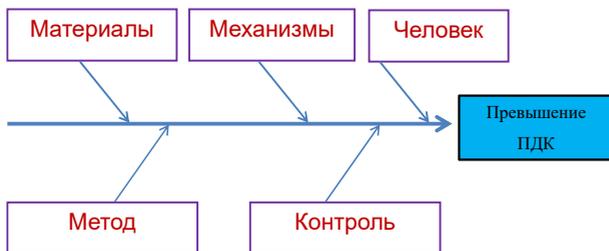


Рис. 3. Построение ветвей диаграммы

6. Причины проблемы, выявленные в ходе исследования, распределяются по установленным категориям и указываются на диаграмме в виде ветвей, примыкающих к основным ветвям (рис. 4).



Рис. 4. Указание причин проблемы на диаграмме

7. Каждая из причин детализируется на составляющие. Для этого по каждой из них задается вопрос: „Почему это произошло?“. Результаты фиксируются в виде ветвей следующего, более низкого порядка. Процесс детализации причин продолжается до тех пор, пока не будет найдена корневая причина.

8. Выявляются наиболее значимые и важные причины, влияющие на исследуемую проблему.

9. При анализе должны выявляться и фиксироваться все факторы, даже те, которые кажутся незначительными, так как цель схемы – отыскать наиболее правильный путь и эффективный способ решения проблемы.

10. Причины (факторы) оцениваются и ранжируются по их значимости, при этом выделяются особо важные, которые пред-

положительно оказывают наибольшее влияние на показатель качества. <...>

11. В диаграмму вносится вся необходимая информация: ее название, наименование изделия, имена участников, дата и т. д.

12. Процесс выявления, анализа и объяснения причин является ключевым в структурировании проблемы и переходе к корректирующим действиям.

13. Задавая при анализе каждой причины вопрос „почему?“, можно определить первопричину проблемы.

14. Способ взглянуть на логику в направлении вопроса „почему?“ состоит в том, чтобы рассматривать это направление в виде процесса постепенного раскрытия всей цепи последовательно связанных между собой причинных факторов, оказывающих влияние на проблему качества.

15. По значимым причинам проводится дальнейшая работа и определяются корректирующие или предупреждающие мероприятия» [9].

Вывод по примеру (рис. 5). Ключевой причиной выхода из строя автопогрузчика – низкий уровень подготовленности водителя автопогрузчика. Принимаются меры отправить водителя автопогрузчика на дополнительные курсы по освоению эксплуатации автопогрузчика.

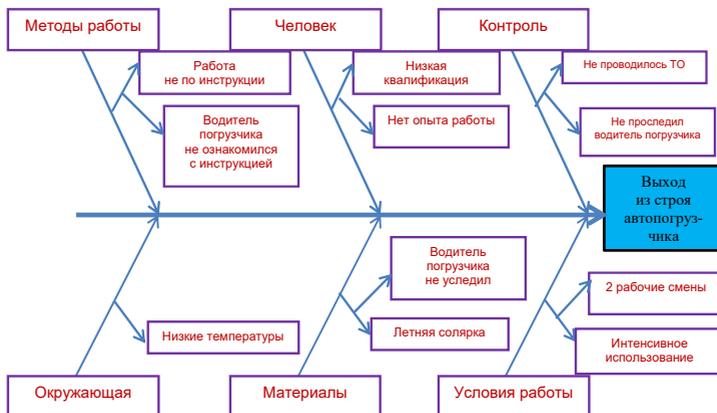


Рис. 5. Диаграмма Исикавы для выявления проблемы выхода автопогрузчика из строя [9]

Практическое занятие 1

Определение количественных характеристик надежности по статистическим данным об отказах изделия

Форма проведения занятия — практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. Оценка вероятности безотказной работы по статистическим данным об отказах.
2. Определение интенсивности отказов по статистическим данным об отказах.

Цель — овладеть навыком определения количественных характеристик надежности по статистическим данным об отказах изделия.

Методические указания по проведению занятия

1. Изучить нормативные правовые документы, представленные в списке рекомендуемой литературы.
2. Выполнить задания 1.1 и 1.2.
3. Оформить отчет о практической работе.

Методические материалы к занятию

Задание 1.1. Определить статистическую оценку вероятности безотказной работы изделия $P(t)$ и вероятности отказа $q(t)$.

Рекомендации по выполнению задания

1. Ознакомиться с методами определения количественных характеристик надежности (теоретические сведения), ознакомиться с примером выполнения задания.
2. Выбрать вариант по первым двум буквам фамилии в прил. А.
3. Произвести расчеты количественных характеристик надежности согласно варианту, исходные данные взять в табл. 1.2.
4. Сделать вывод о надежности системы по табл. 1.1.

«Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оценивается выражением

$$P(t) = n(t) / N, \quad (1.1)$$

где $n(t)$ – число изделий, не отказавших к моменту времени t ; N – число изделий, поставленных на испытания; $P(t)$ – статистическая оценка вероятности безотказной работы изделия.

Для вероятности отказа по статистическим данным справедливо соотношение

$$q(t) = N - n(t) / N, \quad (1.2)$$

где $N - n(t)$ – число изделий, отказавших к моменту времени t ; $q(t)$ – статистическая оценка вероятности отказа изделия.

Частота отказов по статистическим данным об отказах определяется выражением

$$f(t) = \Delta n(t) / N \cdot \Delta t,$$

где $f(t)$ – статистическая оценка частоты отказов изделия; $\Delta n(t)$ – число отказавших изделий на участке времени $(t, t + \Delta t)$; Δt – интервал времени.

Интенсивность отказов по статистическим данным об отказах определяется по формуле

$$\lambda(t) = \Delta n(t) / \Delta t - n(t),$$

где $\Delta n(t)$ – число отказавших изделий на участке времени $(t, t + \Delta t)$; $n(t)$ – число изделий, не отказавших к моменту времени t ; $\lambda(t)$ – статистическая оценка интенсивности отказов изделия.

Среднее время безотказной работы изделия по статистическим данным оценивается выражением

$$m_i = 1 / N \cdot \sum t_i, \quad (1.3)$$

где m_i – статистическая оценка среднего времени безотказной работы изделия; N – общее число изделий, поставленных на испытания; t_i – время безотказной работы i -го изделия.

Для определения m_i по формуле (1.3) необходимо знать моменты выхода из строя всех N изделий.

Можно определять m_i из уравнения

$$m_i \approx \sum n_i \cdot t_{cp},$$

где n_i – количество вышедших из строя изделий в i -м интервале времени; $t_{cp} = (t_i - 1 + t_i) / 2$; $m = t_k / \Delta t$; $\Delta t = t_i + 1 - t_i$; $t_i - 1$ – время начала i -го интервала; t_i – время конца i -го интервала; t_k – время, в течение которого вышли из строя все изделия» [9].

Образец выполнения задания

«На испытание поставлено 1500 изделий. За период 2500 часов отказало 70 изделий.

Требуется определить вероятность безотказной работы $P(t)$, провести статистическую оценку вероятности отказа изделия $q(t)$ при времени работы $t = 2500$ часов.

Решение. В данном случае $N = 1500$; $n(t) = 1500 - 70 = 1430$.

По формулам (1.1) и (1.2) определяем вероятность безотказной работы и вероятность отказа изделия для периода времени 2500 часов:

$$P(t) = P(2500) = 1430 / 1500 = 0,95;$$

$$q(t) = q(2500) = 70 / 1500 = 0,046.$$

Вывод: надежность рассматриваемой системы высокая» [9].

Таблица 1.1

Оценка надежности системы по значению безотказной работы [9]

Вероятность безотказной работы $P(t)$	Степень надежности системы
0,95–0,99	Высокая
0,65–0,95	Средняя
Менее 0,65	Низкая

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 1.2

Исходные данные для вычисления статистической оценки вероятности безотказной работы изделия $P(t)$ и вероятности отказа $q(t)$ [9]

Номер варианта	Количество изделий	Период времени, часов	Количество отказавших изделий
1	2000	1200	70
2	3700	1000	67
3	4300	600	55
4	2500	500	25
5	1500	2500	12
6	1600	2000	90

Продолжение табл. 1.2

Номер варианта	Количество изделий	Период времени, часов	Количество отказавших изделий
7	1000	600	100
8	3500	3000	15
9	4000	1000	50
10	5000	1500	500
11	1500	1200	60
12	2000	800	98
13	3000	2300	278
14	2100	1000	50
15	2450	1000	100
16	3000	3250	150
17	1100	3200	65
18	900	700	5
19	1000	2000	25
20	500	2500	100
21	3000	3200	70
22	3200	1500	790
23	1700	2000	84
24	1250	1000	16
25	2300	1500	620
26	1000	500	457
27	1400	700	236
28	1200	1000	230
29	1100	1300	651
30	1700	1200	200
31	2300	1100	15
32	2100	800	2
33	2700	900	17
34	2550	3000	890
35	4150	1600	567

Окончание табл. 1.2

Номер варианта	Количество изделий	Период времени, часов	Количество отказавших изделий
36	4120	2500	1219
37	3200	1000	100
38	3150	100	342
39	4170	950	15
40	5000	3000	247
41	500	2500	321
42	4240	2600	125
43	2750	1700	168
44	3000	1900	169
45	3100	1800	33
46	3200	2000	18
47	2450	1000	12
48	3450	600	120
49	1000	200	2
50	1100	100	15

Задание 1.2. Вычислить количественные характеристики надежности по статистическим данным.

Рекомендации по выполнению задания

1. Выбрать вариант по первым двум буквам фамилии в прил. А.
2. Выбрать исходные данные согласно варианту задания (табл. 1.4).
3. Вычислить вероятность безотказной работы.
4. Вычислить вероятность отказа.
5. Вычислить частоту отказов.
6. Вычислить среднее время безотказной работы.
7. Сделать вывод о надежности технической системы по табл. 1.3.

Образец выполнения задания

«Время работы элемента до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с параметром $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-5}$ 1/час.

Требуется вычислить количественные характеристики надежности элемента: $p(t)$ – вероятность безотказной работы изделия на интервале времени от 0 до t ; $q(t)$ – вероятность отказа изделия на интервале времени от 0 до t ; $f(t)$ – частота отказов изделия или плотность вероятности времени безотказной работы T ; m_t – среднее время безотказной работы изделия для $t = 1000$ часов.

Решение.

1. Вычисляем вероятность безотказной работы по формуле

$$p(t) = e^{-\lambda t} = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot t}.$$

2. Вычисляем вероятность отказа $q(1000)$ по формуле

$$q(1000) = 1 - p(1000) = 0,0247.$$

3. Вычисляем частоту отказов по формуле

$$f(t) = \lambda(t) \cdot e^{-\lambda t} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot t} = 2,439 \cdot 10^{-5}.$$

4. Вычисляем среднее время безотказной работы по формуле

$$m_t = 1 / \lambda = 1 / 2,5 \cdot 10^{-5} = 40\,000 \text{ час.}$$

Вывод: рассматриваемая система имеет высокую степень надежности» [9].

Таблица 1.3

Оценка надежности системы [9]

Значение среднего времени безотказной работы системы	Степень надежности системы
Менее 300 часов	Низкая
300–1000 часов	Средняя
1000 часов и более	Высокая

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 1.4

Исходные данные для вычисления количественных характеристик надежности изделия [9]

Номер варианта	Интенсивность отказов λ , 1/час	Период времени t , час
1	$2,6 \cdot 10^{-5}$	1000
2	$3,1 \cdot 10^{-5}$	1000
3	$2,7 \cdot 10^{-5}$	1000
4	$2,4 \cdot 10^{-5}$	1000
5	$1,9 \cdot 10^{-5}$	1000
6	$2,0 \cdot 10^{-5}$	1000
7	$2,1 \cdot 10^{-5}$	1000
8	$2,22 \cdot 10^{-5}$	1000
9	$2,51 \cdot 10^{-5}$	1000
10	$2,32 \cdot 10^{-5}$	1000
11	$2,16 \cdot 10^{-5}$	1000
12	$2,42 \cdot 10^{-5}$	1000
13	$2,8 \cdot 10^{-5}$	1000
14	$2,81 \cdot 10^{-5}$	1000
15	$2,23 \cdot 10^{-5}$	1000
16	$2,9 \cdot 10^{-5}$	1000
17	$2,8 \cdot 10^{-5}$	1000
18	$2,82 \cdot 10^{-5}$	1000
19	$2,94 \cdot 10^{-5}$	1000
20	$2,5 \cdot 10^{-5}$	1000
21	$2,66 \cdot 10^{-5}$	1000
22	$2,64 \cdot 10^{-5}$	1000
23	$2,94 \cdot 10^{-5}$	1000
24	$2,11 \cdot 10^{-5}$	1000
25	$2,08 \cdot 10^{-5}$	1000
26	$3,25 \cdot 10^{-5}$	1000
27	$2,88 \cdot 10^{-5}$	1000
28	$1,24 \cdot 10^{-5}$	1000
29	$1,78 \cdot 10^{-5}$	1000

Номер варианта	Интенсивность отказов λ , 1/час	Период времени t , час
30	$1,90 \cdot 10^{-5}$	1000
31	$1,99 \cdot 10^{-5}$	1000
32	$2,03 \cdot 10^{-5}$	1000
33	$3,01 \cdot 10^{-5}$	1000
34	$2,89 \cdot 10^{-5}$	1000
35	$2,04 \cdot 10^{-5}$	1000
36	$2,87 \cdot 10^{-5}$	1000
37	$3,12 \cdot 10^{-5}$	1000
38	$2,45 \cdot 10^{-5}$	1000
39	$1,98 \cdot 10^{-5}$	1000
40	$1,77 \cdot 10^{-5}$	1000
41	$1,94 \cdot 10^{-5}$	1000
42	$2,56 \cdot 10^{-5}$	1000
43	$2,76 \cdot 10^{-5}$	1000
44	$3,05 \cdot 10^{-5}$	1000
45	$2,04 \cdot 10^{-5}$	1000
46	$1,08 \cdot 10^{-5}$	1000
47	$1,88 \cdot 10^{-5}$	1000
48	$2,15 \cdot 10^{-5}$	1000
49	$3,16 \cdot 10^{-5}$	1000
50	$2,00 \cdot 10^{-5}$	1000

Рекомендуемая литература

- ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 26 апреля 1995 года № 7) : введен впервые : дата введения 1997-01-01 / разработан МТК 119 «Надежность в технике». — Переизд. — Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, [б. г.]. — II, 12 с.

2. ГОСТ Р 27.004–2009. Надежность в технике. Модели отказов : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 года № 1244-ст : введен впервые : дата введения 2010-09-01 / разработан ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартинформ, 2010. – III, 11, [1] с.

Практическое занятие 2
Последовательное соединение элементов
в систему. Расчет надежности системы
с постоянным резервированием. Прогнозирование
интенсивности отказов

Форма проведения занятия – практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. Определение интенсивности отказов системы.
2. Понятие постоянного резервирования.

Цель – научиться производить расчет надежности системы с постоянным резервированием, прогнозировать интенсивность отказов.

Методические указания по проведению занятия

1. Изучить нормативные правовые документы, представленные в списке рекомендуемой литературы.
2. Выполнить задания 2.1, 2.2 и 2.3.
3. Оформить отчет о практической работе.

Методические материалы к занятию

Задание 2.1. Определить надежность системы с последовательным соединением элементов.

Рекомендации по выполнению задания

1. Выбрать вариант по первым двум буквам фамилии в прил. А.
2. Выбрать исходные данные согласно варианту по табл. 2.2.
3. Определить интенсивность отказов элементов системы.

4. Определить интенсивность отказов системы.
5. Определить среднее время безотказной работы системы.
6. Сделать вывод о надежности системы по табл. 2.1.

Образец выполнения задания

«В случае экспоненциального закона надежности всех элементов системы имеем:

$$\begin{aligned} \lambda_i(t) &= \lambda_i, \\ \lambda_c(t) &= \sum \lambda_i = \lambda_c, \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} P_i(t) &= \exp(-\lambda_i t), \\ P_c(t) &= e^{-\lambda_c t}, \\ f_c(t) &= \lambda_c \cdot e^{-\lambda_c t}, \\ q_c(t) &= 1 - e^{-\lambda_c t}, \\ m_{ic} &= 1 / \lambda_c. \end{aligned} \quad (3.2)$$

При расчете надежности систем часто приходится перемножать вероятности безотказной работы отдельных элементов расчета, возводить их в степень и извлекать корни. При значениях $P(t)$, близких к единице, эти вычисления можно с достаточной для практики точностью выполнять по приближенным формулам.

Система состоит из трех блоков, среднее время безотказной работы которых равно $m_{i1} = 130$ час; $m_{i2} = 310$ час; $m_{i3} = 660$ час. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить среднее время безотказной работы системы.

Решение. Воспользовавшись формулой (3.2), получим значение интенсивности отказов элементов системы:

$\lambda_1 = 1 / m_{i1} = 1 / 130$, $\lambda_2 = 1 / m_{i2} = 1 / 310$, $\lambda_3 = 1 / m_{i3} = 1 / 660$,
где λ_1 – интенсивность отказов 1-го блока; λ_2 – интенсивность отказов 2-го блока; λ_3 – интенсивность отказов 3-го блока.

На основании формулы (3.1) получим интенсивность отказов системы:

$$\lambda_c = 1 / 130 + 1 / 310 + 1 / 660 = 0,0123 \text{ 1/час.}$$

На основании формулы (3.2) получим среднее время безотказной работы системы: $m_{ic} = 1 / \lambda_c \approx 1 / 0,0123 \approx 81$ час.

Вывод: надежность системы низкая» [9].

Таблица 2.1

Оценка надежности системы [9]

Значение среднего времени безотказной работы системы	Степень надежности системы
Менее 300 часов	Низкая
300–1000 часов	Средняя
1000 часов и более	Высокая

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 2.2

Исходные данные для определения надежности систем с последовательным соединением элементов [9]

Номер варианта	Количество блоков системы	Среднее время безотказной работы m , час
1	3	140; 150; 200
2	4	290; 120; 175; 250
3	4	450; 180; 330; 570
4	5	650; 240; 760; 430; 210
5	3	215; 200; 580
6	5	650; 820; 450; 700; 200
7	6	300; 850; 500; 890; 690; 310
8	6	470; 580; 990; 750; 100; 400
9	4	540; 680; 290; 310
10	5	900; 760; 340; 230; 740
11	5	750; 580; 940; 260; 700
12	3	860; 740; 600
13	3	650; 880; 920
14	4	550; 640; 490; 700
15	6	720; 860; 540; 910; 690; 600
16	5	760; 900; 880; 590; 600
17	4	980; 540; 430; 100
18	3	120; 340; 530
19	3	690; 770; 800

Окончание табл. 2.2

Номер варианта	Количество блоков системы	Среднее время безотказной работы m , час
20	4	990; 650; 430; 680
21	5	340; 560; 890; 210; 250
22	5	640; 280; 130; 140; 800
23	4	560; 250; 700; 430
24	3	500; 440; 110; 850
25	5	590; 420; 680; 690; 160
26	4	760; 238; 129; 100
27	3	100; 120; 130
28	5	750; 459; 231; 348; 980
29	4	569; 770; 110; 123
30	3	900; 760; 111
31	6	227; 349; 134; 187; 900; 750
32	5	444; 256; 340; 121; 356
33	3	800; 466; 583
34	4	980; 346; 790; 300
35	3	200; 166; 800
36	5	256; 980; 165; 700; 320
37	4	300; 580; 225; 179
38	3	500; 720; 800
39	5	165; 168; 789; 340; 200
40	6	980; 675; 888; 235; 100; 115
41	4	356; 126; 900; 320
42	3	480; 250; 340
43	5	568; 228; 761; 666; 200
44	4	740; 920; 180; 160
45	6	220; 340; 134; 167; 904; 907
46	5	300; 250; 179; 170; 304
47	4	309; 155; 186; 489
48	4	887; 716; 229; 100
49	6	728; 860; 545; 910; 690; 603
50	5	304; 565; 890; 210; 259

Задание 2.2. Определить надежность системы с постоянным резервированием.

Рекомендации по выполнению задания

1. Выбрать вариант по первым двум буквам фамилии в прил. А.
2. Выбрать исходные данные для выполнения расчетов согласно варианту (табл. 2.3).
3. Определить интенсивность отказов системы.
4. Определить время безотказной работы.
5. Найти частоту отказов системы.
6. Сделать вывод о надежности систем, проведя анализ продолжительности безотказной работы по табл. 2.4.

Образец выполнения задания

«Рассчитать интенсивность отказов системы с общим резервированием при экспоненциальном законе надежности.

Частота отказов составляет $6 \cdot 10^{-3}$ 1/час, вероятность безотказной работы 0,9. Интенсивность отказов системы с общим резервированием:

$$\lambda = f_c(t) / P_c(t). \quad (4.1)$$

<...>

По формуле (4.1) определяем интенсивность отказов системы:

$$\lambda = f_c(t) / P_c(t) = 6 \cdot 10^{-3} / 0,9 = 0,0067.$$

Вывод: надежность рассматриваемой системы высокая» [9].

Таблица 2.3

Исходные данные для определения расчета надежности системы с общим резервированием [9]

Номер варианта	Частота отказов, 1/час	Вероятность безотказной работы
1	$5 \cdot 10^{-5}$	0,98
2	$10 \cdot 10^{-3}$	0,9
3	$6 \cdot 10^{-3}$	0,77
4	$8 \cdot 10^{-4}$	0,98
5	$10 \cdot 10^{-4}$	0,79

Продолжение табл. 2.3

Номер варианта	Частота отказов, 1/час	Вероятность безотказной работы
6	$4 \cdot 10^{-5}$	0,59
7	$5 \cdot 10^{-6}$	0,44
8	$6 \cdot 10^{-5}$	0,66
9	$9 \cdot 10^{-5}$	0,65
10	$10 \cdot 10^{-6}$	0,34
11	$10 \cdot 10^{-3}$	0,99
12	$8 \cdot 10^{-5}$	0,68
13	$7 \cdot 10^{-3}$	0,79
14	$5 \cdot 10^{-6}$	0,77
15	$6 \cdot 10^{-4}$	0,74
16	$5 \cdot 10^{-4}$	0,69
17	$10 \cdot 10^{-4}$	0,87
18	$9 \cdot 10^{-3}$	0,85
19	$6 \cdot 10^{-5}$	0,91
20	$5 \cdot 10^{-5}$	0,84
21	$4 \cdot 10^{-4}$	0,92
22	$9 \cdot 10^{-4}$	0,78
23	$5 \cdot 10^{-3}$	0,65
24	$10 \cdot 10^{-5}$	0,81
25	$8 \cdot 10^{-6}$	0,9
26	$6 \cdot 10^{-6}$	0,67
27	$3 \cdot 10^{-4}$	0,93
28	$2 \cdot 10^{-4}$	0,84
29	$10 \cdot 10^{-3}$	0,87
30	$5 \cdot 10^{-6}$	0,76
31	$4 \cdot 10^{-5}$	0,56
32	$5 \cdot 10^{-5}$	0,98
33	$5 \cdot 10^{-4}$	0,7

Окончание табл. 2.3

Номер варианта	Частота отказов, 1/час	Вероятность безотказной работы
34	$6 \cdot 10^{-3}$	0,61
35	$8 \cdot 10^{-6}$	0,6
36	$3 \cdot 10^{-5}$	0,72
37	$3 \cdot 10^{-4}$	0,76
38	$6 \cdot 10^{-4}$	0,84
39	$4 \cdot 10^{-5}$	0,93
40	$7 \cdot 10^{-3}$	0,8
41	$9 \cdot 10^{-6}$	0,88
42	$5 \cdot 10^{-4}$	0,7
43	$7 \cdot 10^{-3}$	0,9
44	$2 \cdot 10^{-5}$	0,62
45	$10 \cdot 10^{-4}$	0,96
46	$4 \cdot 10^{-3}$	0,87
47	$3 \cdot 10^{-3}$	0,97
48	$5 \cdot 10^{-5}$	0,9
49	$6 \cdot 10^{-6}$	0,73
50	$5 \cdot 10^{-5}$	0,88

Таблица 2.4

Оценка надежности системы [9]

Значение интенсивности отказов системы	Степень надежности системы
Выше 0,0065	Высокая
0,060–0,0065	Средняя
0,6–0,06	Низкая

Примечание: приведенная шкала является условной.

Задание 2.3. Провести прогнозирование интенсивности отказов технической системы.

Рекомендации по выполнению задания

1. Выбрать вариант по первым двум буквам фамилии в прил. А.
2. Выбрать исходные данные согласно варианту для выполнения работы по табл. 2.5.
3. Определить числовое значение интенсивности отказов в эксплуатационных режимах по формуле $\lambda = \lambda_{ref} \pi_T$.
4. Определить коэффициент температурного влияния, используя приведенную номограмму (рис. 6).
5. Определить интенсивность отказов.
6. Опираясь на данные табл. 2.6, сделать вывод о надежности системы.

Образец выполнения задания

«Исходные условия интенсивности отказов для биполярной оперативной памяти следующие:

- $\lambda_{ref} = 10^{-7} \text{ ч}^{-1}$;
- температура окружающей среды: $\Theta_{amb,ref} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$;
- самонагрев – $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Каким будет значение интенсивности отказов при температуре окружающей среды $\Theta_{amb,ref} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ с тем же значением самонагрева?

1. Модель интенсивности отказов в эксплуатационных режимах определяют по формуле

$$\lambda = \lambda_{ref} \pi_T$$

где π_T – коэффициент температурного влияния.

2. Из рис. 6 следует, что коэффициент температурного влияния $\pi_T = 3,4$.

Используя значение исходной температуры и фактическую температуру, определяем:

$$\Theta_1 = \Theta_{amb,ref} + \Delta T_{ref} = 40 \text{ }^\circ\text{C} + 20 \text{ }^\circ\text{C} = 60 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Theta_2 = \Theta_{amb,ref} + \Delta T_{ref} = 70 \text{ }^\circ\text{C} + 20 \text{ }^\circ\text{C} = 90 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3. Интенсивность отказов для $\Theta_{amb,ref} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ определяем по формуле, указанной для шага 1:

$$\lambda = \lambda_{ref} \pi_T = 3,4 \cdot 10^{-7} \text{ ч}^{-1}.$$

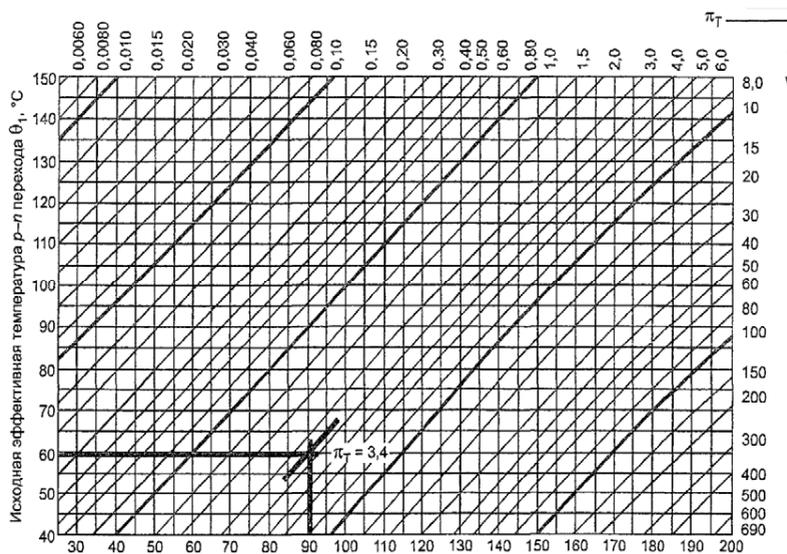


Рис. 6. Зависимость интенсивности отказов от температуры [9]

Вывод: опираясь на данные табл. 2.5, приходим к выводу, что надежность рассматриваемой системы является средней» [9].

Таблица 2.5

Исходные данные для прогнозирования интенсивности отказов

Номер варианта	Интенсивность отказов, 1/час	Температура окружающей среды, °C
1	10^{-7}	64
2	10^{-8}	87
3	10^{-7}	90
4	10^{-6}	70
5	10^{-7}	77
6	10^{-6}	69
7	10^{-8}	87
8	10^{-7}	56
9	10^{-6}	97
10	10^{-7}	88
11	10^{-6}	76

Продолжение табл. 2.5

Номер варианта	Интенсивность отказов, 1/час	Температура окружающей среды, °С
12	10^{-8}	71
13	10^{-7}	81
14	10^{-6}	83
15	10^{-8}	97
16	10^{-7}	99
17	10^{-7}	64
18	10^{-6}	66
19	10^{-8}	98
20	10^{-7}	97
21	10^{-6}	59
22	10^{-7}	45
23	10^{-7}	78
24	10^{-6}	80
25	10^{-7}	84
26	10^{-8}	66
27	10^{-7}	54
28	10^{-6}	67
29	10^{-7}	87
30	10^{-6}	55
31	10^{-6}	58
32	10^{-8}	59
33	10^{-7}	80
34	10^{-8}	51
35	10^{-7}	82
36	10^{-8}	76
37	10^{-6}	50
38	10^{-6}	70
39	10^{-7}	88
40	10^{-7}	81

Окончание табл. 2.5

Номер варианта	Интенсивность отказов, 1/час	Температура окружающей среды, °С
41	10^{-6}	73
42	10^{-8}	70
43	10^{-7}	74
44	10^{-7}	89
45	10^{-6}	87
46	10^{-6}	83
47	10^{-8}	57
48	10^{-7}	64
49	10^{-8}	67
50	10^{-6}	62

Примечание: для всех вариантов принять первоначальную температуру окружающей среды равной 40 °С, а температуру самонагрева принять равной 20 °С.

Таблица 2.6

Оценка надежности системы по величине интенсивности отказов

Интенсивность отказов	Оценка надежности системы
Менее $3 \cdot 10^{-7}$	Высокая
$3 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-5}$	Средняя
Более $5 \cdot 10^{-5}$	Низкая

Примечание: приведенная шкала является ориентировочной.

Рекомендуемая литература

- ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 26 апреля 1995 года № 7) : введен впервые : дата введения 1997-01-01 / разработан МТК 119 «Надежность в технике». — Переизд. — Минск : Межгосударствен-

ный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, [б. г.]. – II, 12 с.

2. ГОСТ Р 27.004–2009. Надежность в технике. Модели отказов : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 года № 1244-ст : введен впервые : дата введения 2010-09-01 / разработан ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартиформ, 2010. – III, 11, [1] с.

Практическое занятие 3

Надежность станков в машиностроительной отрасли. Анализ видов, последствий и критичности отказов

Форма проведения занятия – практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. АВПКО: понятие, определения, особенности.
2. Основные методы проведения АВПКО.

Цель – научиться проводить анализ видов, последствий и критичности отказов.

Задание. Определить надежность станков в машиностроительной отрасли; научиться проводить анализ видов, последствий и критичности отказов.

Методические указания по проведению занятия

1. Выбрать вариант по первой букве фамилии в табл. 3.1.
2. Выбрать задание по своему варианту в табл. 3.2.
3. Изучить ГОСТ 27.310–95 «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов».
4. Определить категорию тяжести последствий отказа по шкале, представленной в табл. 3.3.
5. Определить тяжесть последствий согласно матрице «Вероятность отказа – тяжесть последствий», представленной в табл. 3.4.

6. Рассчитать критичность отказа C . Необходимо определить оценку вероятности отказов в баллах, оценку последствий отказов, оценку вероятности обнаружения отказа до поставки изделия потребителю по табл. 3.5, 3.6, 3.7 соответственно. Критичность отказа C рассчитывают как произведение по формуле $C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3$.
7. Оформить формы рабочего листа для проведения АВПО и рабочего листа для проведения АВПКО. Внести в соответствующие колонки исходные данные и данные, полученные в результате анализа.
8. Оформить отчет о выполненной работе.

Методические материалы к занятию

Таблица 3.1

Выбор варианта

№ варианта	Первая буква фамилии	№ варианта	Первая буква фамилии
1	А	14	О
2	Б	15	П
3	В	16	Р
4	Г	17	С
5	Д	18	Т
6	Е	19	У
7	Ж	20	Ф
8	З	21	Х
9	И	22	Ц – Ч
10	К	23	Ш – Щ
11	Л	24	Э
12	М	25	Ю – Я
13	Н		

Выбор задания по варианту

№ варианта	Станок	Отказ	Ожидаемая вероятность отказов
1	Токарный станок	Конусность поверхности сверх допустимого значения	0,00002
2	Токарный станок	Овальность поверхности сверх допустимого значения	0,0002
3	Токарный станок	Эффект «седла»	0,003
4	Токарный станок	Бочкообразность	0,002
5	Токарный станок	Необработанные фрагменты поверхности, «чернота»	0,003
6	Токарный станок	Шероховатость не соответствует требованиям чертежа	0,004
7	Токарный станок	Отклонение от перпендикулярности и плоскостности торца детали	0,008
8	Токарный станок	Высота профиля резьбы не соответствует стандарту	0,09
9	Токарный станок	Неправильный угол резьбового профиля или его перекос	0,15
10	Токарный станок	При проверке резьбы не навинчивается проходной калибр	0,00002
11	Фрезерный станок	Несоответствие ширины паза размеру, указанному на чертеже	0,0002
12	Фрезерный станок	Уступ на поверхностях паза	0,003
13	Фрезерный станок	Неудовлетворительная шероховатость обработанной поверхности	0,002
14	Фрезерный станок	Ширина уступа не соответствует размеру, указанному на чертеже	0,003
15	Фрезерный станок	Глубина уступа не соответствует размеру, указанному на чертеже	0,004

Окончание табл. 3.2

№ варианта	Станок	Отказ	Ожидаемая вероятность отказов
16	Фрезерный станок	Следы вибраций на обработанной поверхности	0,008
17	Фрезерный станок	Волнистость поверхности	0,09
18	Сверлильный станок	Неудовлетворительное качество обработанной поверхности	0,15
19	Сверлильный станок	Диаметр обработанного отверстия больше требуемого	0,00002
20	Сверлильный станок	Смещение отверстия	0,0002
21	Сверлильный станок	Отклонение от перпендикулярности оси отверстия в плоскости	0,003
22	Сверлильный станок	Увеличенная глубина сверления	0,002
23	Сверлильный станок	Поломки рабочей части сверла	0,003
24	Сверлильный станок (зенкерование)	Часть поверхности отверстия осталась необработанной (чернота в отверстии)	0,004
25	Сверлильный станок (развертывание)	Надиры и выхваты на поверхности отверстия	0,008

Таблица 3.3

Шкала установления категории тяжести последствий отказов [3]

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
IV	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или окружающей среды, гибель или тяжелые травмы людей, срыв выполнения поставленной задачи
III	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или для окружающей среды, срыв выполняемой задачи, но создает пренебрежимо малую угрозу жизни и здоровью людей

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
II	Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижение готовности и эффективности объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей
I	Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей

Таблица 3.4

Матрица «Вероятность отказа – тяжесть последствий»
для ранжирования отказов при АВПО [3]

Ожидаемая частота возникновения	Тяжесть последствий			
	Катастрофический отказ (категория IV)	Критический отказ (категория III)	Некритический отказ (категория II)	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями (категория I)
Частый отказ	A	A	A	C
Вероятный отказ	A	A	B	C
Возможный отказ	A	B	B	D
Редкий отказ	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	B	C	C	D

Ранги отказов:

- A – обязателен углубленный количественный анализ критичности;
- B – желателен количественный анализ критичности;
- C – можно ограничиться качественным анализом;
- D – анализ не требуется.

Шкалы балльных оценок критичности отказов

Критичность отказа C рассчитывают как произведение по формуле

$$C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3.$$

Входящие в произведение сомножители оценивают в баллах [3].

Таблица 3.5

Оценки вероятностей отказов в баллах [3]

Виды отказов по вероятности возникновения за время эксплуатации	Ожидаемая вероятность отказов, оцененная расчетным путем	Оценка вероятности отказа в баллах В1
Отказ практически невероятен	Менее 0,00005	1
Отказ маловероятен	От 0,00005 до 0,001	2
Отказ имеет малую вероятность, обусловленную только точностью расчета	От 0,001 до 0,005	3
Умеренная вероятность отказа	От 0,005 до 0,01	4
Отказы возможны, но при испытаниях или в эксплуатации аналогичных изделий не наблюдались	От 0,01 до 0,05	5
Отказы возможны, наблюдались при испытаниях и в эксплуатации аналогичных изделий	От 0,05 до 0,1	6
Отказы вполне вероятны	От 0,1 до 0,5	7
Высокая вероятность отказов	От 0,5 до 1,0	8
Вероятны повторные отказы	Более 1,0	10

Таблица 3.6

Оценки последствий отказов [3]

Описание последствий отказов	Оценка последствий в баллах В2
Отказ не приводит к заметным последствиям, потребитель, вероятно, не обнаружит наличие неисправности	1
Последствия отказа незначительны, но потребитель может выразить неудовольствие его появлением	2–3
Отказ приводит к заметному для потребителя снижению эксплуатационных характеристик и/или к неудобству применения изделия	4–6
Высокая степень недовольства потребителя, изделие не может быть использовано по назначению, но угрозы безопасности отказ не представляет	7–8
Отказ представляет угрозу безопасности людей или окружающей среды	9–10

Таблица 3.7

Оценка вероятности обнаружения отказа до поставки изделия потребителю [3]

Виды отказов по вероятности обнаружения до поставки	Вероятность обнаружения отказа, оцененная расчетным путем	Оценка вероятности в баллах В3
Очень высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	Более 0,95	1
Высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	От 0,95 до 0,85	2–3
Умеренная вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	От 0,85 до 0,45	4–6
Высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	От 0,45 до 0,25	7–8
Очень высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	Менее 0,25	9–10

Бланк выполнения задания 3

Форма рабочего листа для проведения АВПО [3]

Код элемента (функции)	Наименование элемента (функции)	Вид (описание) отказа	Возможные причины отказа	Последствия отказа			Способы и средства обнаружения и локализации отказа	Рекомендации по предупреждению (снижению) тяжести последствий отказа	Категория тяжести последствий отказа
				на рас- сма- триваемом уровне	на вы- шесте- ящем уровне	на уровне изделия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Форма рабочего листа для проведения АВПКО [3]

Код элемента (функции)	Наименование элемента (функции)	Вид (описание) отказа	Возможные причины отказа	Последствия отказа			Способы и средства обнаружения отказа	Рекомендации по предупреждению (снижению) тяжести последствий отказа	Вероятность отказа	Критичность отказа
				на рас- сма- триваемом уровне	на вы- шесте- ящем уровне	на уровне изделия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 26 апреля 1995 года № 7) : введен впервые : дата введения 1997-01-01 / разработан МТК 119 «Надежность в технике». – Переизд. – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, [б. г.]. – II, 12 с.
2. ГОСТ Р 27.004–2009. Надежность в технике. Модели отказов : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 года № 1244-ст : введен впервые : дата введения 2010-09-01 / разработан ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартинформ, 2010. – III, 11, [1] с.

Практическое занятие 4 **Надежность оборудования нефтеперекачивающих станций. Анализ видов, последствий и критичности отказов**

Форма проведения занятия – практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. Основные операции, входящие в общую схему (алгоритм) АВПО (АВПКО) структурным методом.
2. Основные операции, входящие в общую схему (алгоритм) АВПО (АВПКО) функциональным методом.

Цель – научиться проводить анализ видов, последствий и критичности отказов.

Задание. Определить надежность оборудования нефтеперекачивающих станций; научиться проводить анализ видов, последствий и критичности отказов.

Методические указания по проведению занятия

1. Выбрать вариант по первой букве фамилии в табл. 4.1.
2. Выбрать задание по своему варианту в табл. 4.2.
3. Изучить ГОСТ 27.310–95 «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов».
4. Определить категорию тяжести последствий отказа по шкале, представленной в табл. 4.3.
5. Определить тяжесть последствий согласно матрице «Вероятность отказа – тяжесть последствий», представленной в табл. 4.4.
6. Рассчитать критичность отказа C . Необходимо определить оценку вероятности отказов в баллах, оценку последствий отказов, оценку вероятности обнаружения отказа до поставки изделия потребителю по табл. 4.5, 4.6, 4.7 соответственно. Критичность отказа C рассчитывают как произведение по формуле $C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3$.
7. Оформить формы рабочего листа для проведения АВПО и рабочего листа для проведения АВПКО. Внести в соответствующие колонки исходные данные и данные, полученные в результате анализа.
8. Оформить отчет о выполненной работе.

Методические материалы к занятию

Таблица 4.1

Выбор варианта

№ варианта	Первая буква фамилии	№ варианта	Первая буква фамилии
1	А	10	К
2	Б	11	Л
3	В	12	М
4	Г	13	Н
5	Д	14	О
6	Е	15	П
7	Ж	16	Р
8	З	17	С
9	И	18	Т

№ варианта	Первая буква фамилии	№ варианта	Первая буква фамилии
19	У	23	Ш – Щ
20	Ф	24	Э
21	Х	25	Ю – Я
22	Ц – Ч		

Таблица 4.2

Выбор задания по варианту

№ варианта	Отказ	Причина	Подпричина	Ожидаемая вероятность отказов
1	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Повышенная вибрация	Неуравновешенность ротора	0,00002
2	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Повышенная вибрация	Неудовлетворительная центровка вала насоса и электродвигателя	0,0002
3	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Повышенная вибрация	Неравномерный износ деталей насоса и особенно уплотнительных колец	0,003
4	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Повышенная вибрация	Ослабление крепежных болтов корпуса насоса с фундаментом, просадка фундамента	0,002
5	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Повышенная вибрация	Работа насосов на нерасчетных режимах	0,003
6	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Повышенная вибрация	Попадание в рабочее колесо посторонних предметов	0,004
7	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Повышенная вибрация	Дефекты подшипников и зубчатых муфт	0,008

Продолжение табл. 4.2

№ варианта	Отказ	Причина	Подпричина	Ожидаемая вероятность отказов
8	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Выход из строя торцевых уплотнений	Раскрытие пары трения	0,09
9	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Выход из строя торцевых уплотнений	Нагрев уплотнения	0,15
10	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Выход из строя торцевых уплотнений	Дефект в изготовлении и сборке деталей и узлов торцевого уплотнения	0,00002
11	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Выход из строя торцевых уплотнений	Нарушение условий эксплуатации	0,0002
12	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Нарушение условий эксплуатации узла торцевого уплотнения	Попадание механических примесей в зону контакта при очистке внутренней полости нефтепровода	0,003
13	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Нарушение условий эксплуатации узла торцевого уплотнения	Попадание полимерных частиц в узел торцевого уплотнения насоса при износе очистительных устройств	0,002
14	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Нарушение условий эксплуатации узла торцевого уплотнения	Несоответствие параметров импеллеров условиям достаточного охлаждения трущихся пар	0,003
15	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Нарушение условий эксплуатации узла торцевого уплотнения	Повышенная вибрация насосного агрегата	0,004

Продолжение табл. 4.2

№ варианта	Отказ	Причина	Подпричина	Ожидаемая вероятность отказов
16	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Нарушение условий эксплуатации узла торцевого уплотнения	Запарафирование или засорение отверстий входа нефти в камеру торцевого уплотнения	0,008
17	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Нарушение условий эксплуатации узла торцевого уплотнения	Использование некачественных опорно-упорных подшипников	0,09
18	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Нарушение условий эксплуатации узла торцевого уплотнения	Неправильная регулировка и установка ротора	0,15
19	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Отказ электродвигателей, вызванный нарушением изоляции обмоток	Рост механических напряжений в изоляции при частых пусках	0,00002
20	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Отказ электродвигателей, вызванный нарушением изоляции обмоток	Несинусоидальность питающего напряжения при работе полупроводниковых преобразователей (нелинейных элементов в цепи статора и ротора)	0,0002
21	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Отказ электродвигателей, вызванный нарушением изоляции обмоток	Тепловые удары, возникающие в тяжелых переходных режимах пуска, ресинхронизации и самозапуска	0,003

Окончание табл. 4.2

№ варианта	Отказ	Причина	Подпричина	Ожидаемая вероятность отказов
22	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Отказ электродвигателей, вызванный нарушением изоляции обмоток	Воздействие электромагнитных сил, приводящих к вибрациям обмоток при нарушениях режимов работы энергооборудования	0,002
23	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Отказ электродвигателей, вызванный нарушением изоляции обмоток	Несимметричный режим нагрузки двигателя	0,003
24	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Отказ электродвигателей, вызванный нарушением изоляции обмоток	Неподвижный эксцентриситет воздушного зазора	0,004
25	Отказ магистральных центробежных насосов типа НМ	Отказ электродвигателей, вызванный нарушением изоляции обмоток	Вращающийся эксцентриситет воздушного зазора	0,008

Таблица 4.3

Шкала установления категории тяжести последствий отказов [3]

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
IV	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или окружающей среды, гибель или тяжелые травмы людей, срыв выполнения поставленной задачи
III	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или для окружающей среды, срыв выполняемой задачи, но создает пренебрежимо малую угрозу жизни и здоровью людей

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
II	Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижение готовности и эффективности объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей
I	Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей

Таблица 4.4

Матрица «Вероятность отказа – тяжесть последствий»
для ранжирования отказов при АВПО [3]

Ожидаемая частота возникновения	Тяжесть последствий			
	Катастрофический отказ (категория IV)	Критический отказ (категория III)	Некритический отказ (категория II)	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями (категория I)
Частый отказ	A	A	A	C
Вероятный отказ	A	A	B	C
Возможный отказ	A	B	B	D
Редкий отказ	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	B	C	C	D

Ранги отказов:

A – обязателен углубленный количественный анализ критичности;

B – желателен количественный анализ критичности;

C – можно ограничиться качественным анализом;

D – анализ не требуется.

Шкалы балльных оценок критичности отказов

Критичность отказа C рассчитывают как произведение по формуле

$$C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3.$$

Входящие в произведение сомножители оценивают в баллах [3].

Таблица 4.5

Оценки вероятностей отказов в баллах [3]

Виды отказов по вероятности возникновения за время эксплуатации	Ожидаемая вероятность отказов, оцененная расчетным путем	Оценка вероятности отказа в баллах B_1
Отказ практически невероятен	Менее 0,00005	1
Отказ маловероятен	От 0,00005 до 0,001	2
Отказ имеет малую вероятность, обусловленную только точностью расчета	От 0,001 до 0,005	3
Умеренная вероятность отказа	От 0,005 до 0,01	4
Отказы возможны, но при испытаниях или в эксплуатации аналогичных изделий не наблюдались	От 0,001 до 0,005	5
Отказы возможны, наблюдались при испытаниях и в эксплуатации аналогичных изделий	От 0,001 до 0,005	6
Отказы вполне вероятны	От 0,005 до 0,01	7
Высокая вероятность отказов	От 0,01 до 0,10	8
Вероятны повторные отказы	Более 0,11	10

Таблица 4.6

Оценки последствий отказов [3]

Описание последствий отказов	Оценка последствий в баллах В2
Отказ не приводит к заметным последствиям, потребитель, вероятно, не обнаружит наличие неисправности	1
Последствия отказа незначительны, но потребитель может выразить неудовольствие его появлением	2–3
Отказ приводит к заметному для потребителя снижению эксплуатационных характеристик и/или к неудобству применения изделия	4–6
Высокая степень недовольства потребителя, изделие не может быть использовано по назначению, но угрозы безопасности отказ не представляет	7–8
Отказ представляет угрозу безопасности людей или окружающей среды	9–10

Таблица 4.7

Оценка вероятности обнаружения отказа до поставки изделия потребителю [3]

Виды отказов по вероятности обнаружения до поставки	Вероятность обнаружения отказа, оцененная расчетным путем	Оценка вероятности в баллах В3
Очень высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	Более 0,95	1
Высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	От 0,95 до 0,85	2–3
Умеренная вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	От 0,85 до 0,45	4–6
Высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	От 0,45 до 0,25	7–8
Очень высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	Менее 0,25	9–10

Бланк выполнения задания 4

Форма рабочего листа для проведения АВПО [3]

Код элемента (функции)	Наименование элемента (функции)	Вид (описание) отказа	Возможные причины отказа	Последствия отказа			Способы и средства обнаружения и локализации отказа	Рекомендации по предупреждению (снижению) тяжести последствий отказа	Категория тяжести последствий отказа
				на рас- сма- триваемом уровне	на вы- шесте- ящем уровне	на уровне изделия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Форма рабочего листа для проведения АВПКО [3]

Код элемента (функции)	Наименование элемента (функции)	Вид (описание) отказа	Возможные причины отказа	Последствия отказа			Способы и средства обнаружения отказа	Рекомендации по предупреждению (снижению) тяжести последствий отказа	Вероятность отказа	Критичность отказа
				на рас- сма- триваемом уровне	на вы- шесте- ящем уровне	на уровне изделия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 26 апреля 1995 года № 7) : введен впервые : дата введения 1997-01-01 / разработан МТК 119 «Надежность в технике». – Переизд. – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, [б. г.]. – II, 12 с.
2. ГОСТ Р 27.004–2009. Надежность в технике. Модели отказов : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 года № 1244-ст : введен впервые : дата введения 2010-09-01 / разработан ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартинформ, 2010. – III, 11, [1] с.

Практическое занятие 5 Надежность оборудования станций технического обслуживания автомобилей. Анализ видов, последствий и критичности отказов

Форма проведения занятия – практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. Порядок проведения АВПКО для сложных объектов.
2. Что включает первый этап анализа независимо от применяемого метода АВПКО.

Цель – научиться проводить анализ видов, последствий и критичности отказов.

Задание. Определить надежность оборудования станций технического обслуживания автомобилей; научиться проводить анализ видов, последствий и критичности отказов.

Методические указания по проведению занятия

1. Выбрать вариант по первой букве фамилии в табл. 5.1.
2. Выбрать задание по своему варианту в табл. 5.2.
3. Изучить ГОСТ 27.310–95 «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов».
4. Определить категорию тяжести последствий отказа по шкале, представленной в табл. 5.3.
5. Определить тяжесть последствий согласно матрице «Вероятность отказа – тяжесть последствий», представленной в табл. 5.4.
6. Рассчитать критичность отказа C . Необходимо определить оценку вероятности отказов в баллах, оценку последствий отказов, оценку вероятности обнаружения отказа до поставки изделия потребителю по табл. 5.5, 5.6, 5.7 соответственно. Критичность отказа C рассчитывают как произведение по формуле $C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3$.
7. Оформить формы рабочего листа для проведения АВПО и рабочего листа для проведения АВПКО. Внести в соответствующие колонки исходные данные и данные, полученные в результате анализа.
8. Оформить отчет о выполненной работе.

Методические материалы к занятию

Таблица 5.1

Выбор варианта

№ варианта	Первая буква фамилии	№ варианта	Первая буква фамилии
1	А	10	К
2	Б	11	Л
3	В	12	М
4	Г	13	Н
5	Д	14	О
6	Е	15	П
7	Ж	16	Р
8	З	17	С
9	И	18	Т

№ варианта	Первая буква фамилии	№ варианта	Первая буква фамилии
19	У	23	Ш – Щ
20	Ф	24	Э
21	Х	25	Ю – Я
22	Ц – Ч		

Таблица 5.2

Выбор задания по варианту

№ варианта	Оборудование	Отказ	Ожидаемая вероятность отказов
1	Передвижная подвесная кран-балка	Обрыв крюка кран-балки	0,00002
2	Передвижная подвесная кран-балка	Падение крюковой подвески	0,002
3	Передвижная подвесная кран-балка	Быстрый износ каната кран-балки	0,003
4	Передвижная подвесная кран-балка	Рывки при работе редуктора	0,008
5	Передвижная подвесная кран-балка	Поворот зубчатого колеса на валу	0,09
6	Передвижная подвесная кран-балка	Нагрев корпуса редуктора, особенно в местах установки подшипников	0,15
7	Передвижная подвесная кран-балка	Разрушение муфты	0,00002
8	Передвижная подвесная кран-балка	Быстрый износ ходовых колес крана, заклинивание ходовых колес на путях	0,0002
9	Передвижная подвесная кран-балка	Ускоренный выход из строя подшипников ходовых колес	0,002
10	Передвижная подвесная кран-балка	Трещины и надрывы в пролетном строении моста, износ полок ездового двутавра свыше допустимого	0,003

Продолжение табл. 5.2

№ варианта	Оборудование	Отказ	Ожидаемая вероятность отказов
11	Передвижная подвесная кран-балка	Двигатель гудит и не проворачивается	0,004
12	Передвижная подвесная кран-балка	Повышенный перегрев двигателя	0,008
13	Передвижная подвесная кран-балка	Двигатель вращается с пониженной скоростью	0,09
14	Передвижная подвесная кран-балка	Двигатель работает с повышенным шумом и вибрацией	0,15
15	Передвижная подвесная кран-балка	Двигатель не затормаживается	0,003
16	Передвижная подвесная кран-балка	При включенном главном выключателе и включении выключателя цепи управления и кнопки защиты линейный контактор не срабатывает	0,002
17	Передвижная подвесная кран-балка	При отпускании кнопки защиты линейный контактор отключается	0,003
18	Передвижная подвесная кран-балка	Не срабатывает конечная защита	0,004
19	Автомобильный подъемник. Электромеханический автоподъемник	Износ резьбового соединения винт – гайка	0,008
20	Автомобильный подъемник. Электромеханический автоподъемник	Выход из строя ползунов или катков каретки	0,00002
21	Автомобильный подъемник. Электромеханический автоподъемник	Выход из строя самой каретки	0,002
22	Автомобильный подъемник. Гидравлические подъемники	Неисправность гидравлического блока	0,003

№ варианта	Оборудование	Отказ	Ожидаемая вероятность отказов
23	Автомобильный подъемник. Гидравлические подъемники	Разрыв троса синхронизации	0,008
24	Автомобильный подъемник. Гидравлические подъемники	Сбой синхронизации	0,09
25	Автомобильный подъемник. Гидравлические подъемники	Искривление лап и колонн стойки	0,15

Таблица 5.3

Шкала установления категории тяжести последствий отказов [3]

Категория тяжести последствий отказов	Характеристика тяжести последствий отказов
IV	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или окружающей среды, гибель или тяжелые травмы людей, срыв выполнения поставленной задачи
III	Отказ, который быстро и с высокой вероятностью может повлечь за собой значительный ущерб для самого объекта и/или для окружающей среды, срыв выполняемой задачи, но создает пренебрежимо малую угрозу жизни и здоровью людей
II	Отказ, который может повлечь задержку выполнения задачи, снижение готовности и эффективности объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей
I	Отказ, который может повлечь снижение качества функционирования объекта, но не представляет опасности для окружающей среды, самого объекта и здоровья людей

Таблица 5.4

Матрица «Вероятность отказа – тяжесть последствий»
для ранжирования отказов при АВПО [3]

Ожидаемая частота возникновения	Тяжесть последствий			
	Катастрофический отказ (категория IV)	Критический отказ (категория III)	Некритический отказ (категория II)	Отказ с пренебрежимо малыми последствиями (категория I)
Частый отказ	A	A	A	C
Вероятный отказ	A	A	B	C
Возможный отказ	A	B	B	D
Редкий отказ	A	B	C	D
Практически невероятный отказ	B	C	C	D

Ранги отказов:

A – обязателен углубленный количественный анализ критичности;

B – желателен количественный анализ критичности;

C – можно ограничиться качественным анализом;

D – анализ не требуется.

Шкалы балльных оценок критичности отказов

Критичность отказа C рассчитывают как произведение по формуле

$$C = B_1 \cdot B_2 \cdot B_3.$$

Входящие в произведение сомножители оценивают в баллах [3].

Таблица 5.5

Оценки вероятностей отказов в баллах [3]

Виды отказов по вероятности возникновения за время эксплуатации	Ожидаемая вероятность отказов, оцененная расчетным путем	Оценка вероятности отказа в баллах В1
Отказ практически невероятен	Менее 0,00005	1
Отказ маловероятен	От 0,00005 до 0,001	2
Отказ имеет малую вероятность, обусловленную только точностью расчета	От 0,001 до 0,005	3
Умеренная вероятность отказа	От 0,005 до 0,01	4
Отказы возможны, но при испытаниях или в эксплуатации аналогичных изделий не наблюдались	От 0,001 до 0,005	5
Отказы возможны, наблюдались при испытаниях и в эксплуатации аналогичных изделий	От 0,001 до 0,005	6
Отказы вполне вероятны	От 0,005 до 0,01	7
Отказы вероятны	От 0,01 до 0,05	8
Высокая вероятность отказов	От 0,05 до 0,10	9
Вероятны повторные отказы	Более 0,11	10

Таблица 5.6

Оценки последствий отказов [3]

Описание последствий отказов	Оценка последствий в баллах В2
Отказ не приводит к заметным последствиям, потребитель, вероятно, не обнаружит наличие неисправности	1
Последствия отказа незначительны, но потребитель может выразить неудовольствие его появлением	2–3
Отказ приводит к заметному для потребителя снижению эксплуатационных характеристик и/или к неудобству применения изделия	4–6

Окончание табл. 5.6

Описание последствий отказов	Оценка последствий в баллах В2
Высокая степень недовольства потребителя, изделие не может быть использовано по назначению, но угрозы безопасности отказ не представляет	7–8
Отказ представляет угрозу безопасности людей или окружающей среды	9–10

Таблица 5.7

Оценка вероятности обнаружения отказа до поставки изделия потребителю [3]

Виды отказов по вероятности обнаружения до поставки	Вероятность обнаружения отказа, оцененная расчетным путем	Оценка вероятности в баллах В3
Очень высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	Более 0,95	1
Высокая вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	От 0,95 до 0,85	2–3
Умеренная вероятность выявления отказа при контроле, сборке, испытаниях	От 0,85 до 0,45	4–6
Высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	От 0,45 до 0,25	7–8
Очень высокая вероятность поставки потребителю дефектного изделия	Менее 0,25	9–10

Бланк выполнения задания 5

Форма рабочего листа для проведения АВПО [3]

Код элемента (функции)	Наименование элемента (функции)	Вид (описание) отказа	Возможные причины отказа	Последствия отказа				Способы и средства обнаружения и локализации отказа	Рекомендации по предупреждению (снижению) тяжести последствий отказа	Категория тяжести последствий отказа
				на взаимном уровне	на вышестоящем уровне	на уровне изделия	на уровне			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Форма рабочего листа для проведения АВПКО [3]

Код элемента (функции)	Наименование элемента (функции)	Вид (описание) отказа	Возможные причины отказа	Последствия отказа			Способы и средства обнаружения отказа	Рекомендации по предупреждению (снижению) тяжести последствий отказа	Вероятность отказа	Критичность отказа
				на взаимном уровне	на вышестоящем уровне	на уровне изделия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 26 апреля 1995 года № 7) : введен впервые : дата введения 1997-01-01 / разработан МТК 119 «Надежность в технике». – Переизд. – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, [б. г.]. – II, 12 с.
2. ГОСТ Р 27.004–2009. Надежность в технике. Модели отказов : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 года № 1244-ст : введен впервые : дата введения 2010-09-01 / разработан ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартинформ, 2010. – III, 11, [1] с.

Практическое занятие 6

Анализ надежности системы с помощью методик «Дерево неисправностей», «Дерево событий», «Анализ видов и последствий отказов», «Диверсионный анализ»

Форма проведения занятия – практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. Анализ диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии системы.
2. Анализ диаграммы возможных последствий события.

Цель – научиться проводить анализ надежности системы с помощью предлагаемых методик.

Методические указания по проведению занятия

1. Изучить нормативные правовые документы, представленные в списке рекомендуемой литературы.
2. Выполнить задания 6.1, 6.2 и 6.3.
3. Оформить отчет о практической работе.

Методические материалы к занятию

Задание 6.1. Построить дерево неисправностей для заданной ситуации.

Рекомендации по выполнению задания

1. Выбрать вариант задания по первым двум буквам фамилии в прил. А.
2. Ознакомиться с методом анализа дерева неисправностей.
3. Выбрать вариант технологического процесса в прил. Б.
4. Произвести построение дерева неисправностей согласно образцу выполнения задания.

Образец выполнения задания 6.1

Задание: построить дерево отказов для аварийного генератора.

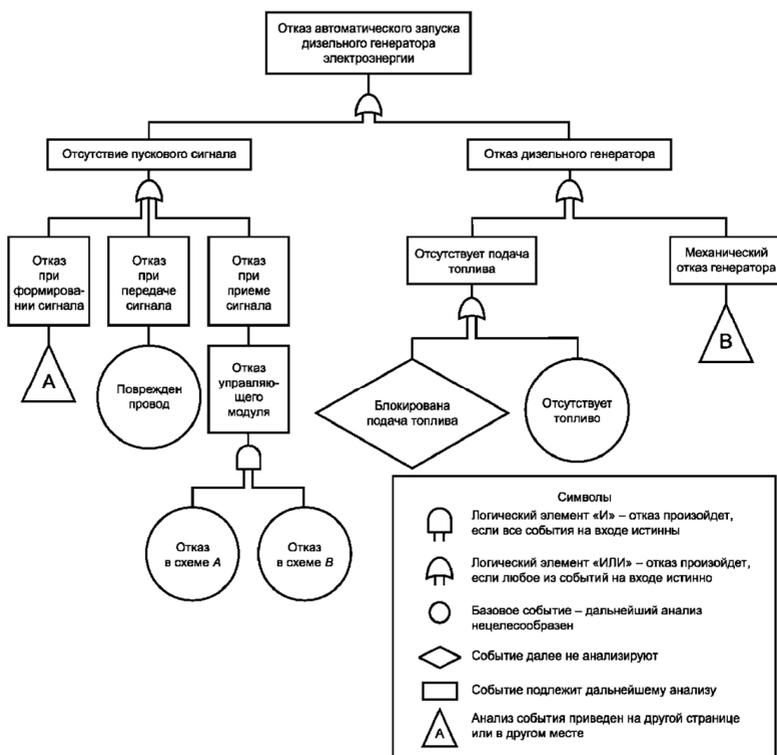


Рис. 7. Дерево неисправностей для аварийного генератора [6]

Задание 6.2. Построить дерево событий для заданной ситуации.

Рекомендации по выполнению задания

1. Ознакомиться с методом анализа дерева событий.
2. Выбрать вариант технологического процесса в прил. Б.
3. Произвести построение дерева неисправностей согласно образцу выполнения задания.

Образец выполнения задания 6.2

Задание: построить дерево событий для взрыва пыли.

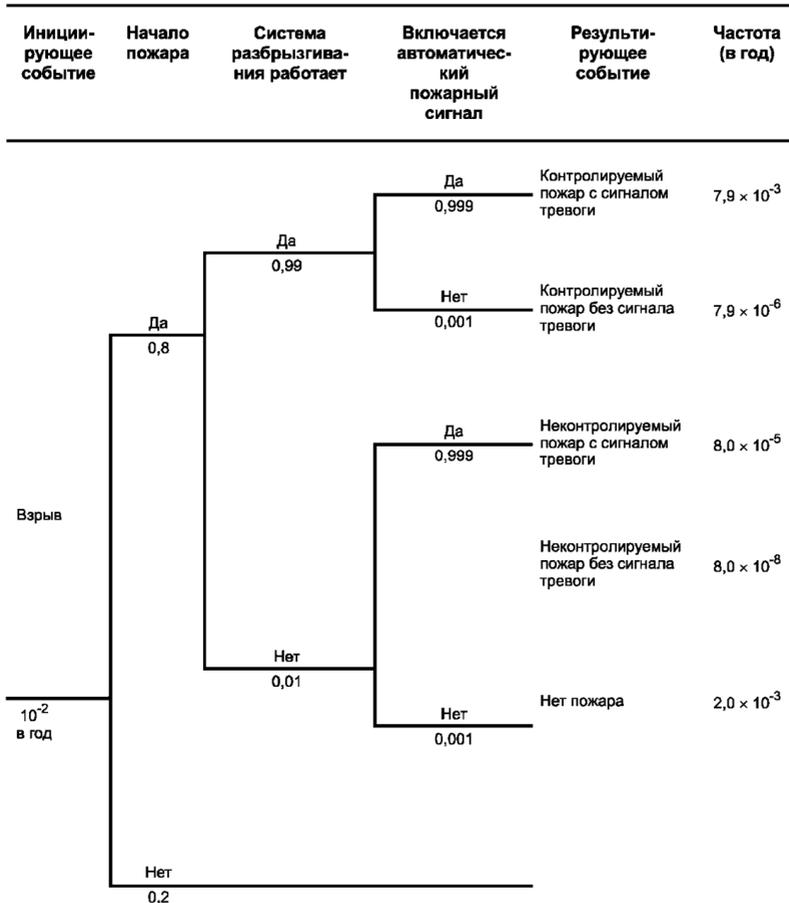


Рис. 8. Дерево событий для взрыва пыли [6]

Задание 6.3. Провести FMEA-анализ и определить меры предупреждения отказа.
Рекомендации по выполнению задания

1. Ознакомиться с методом FMEA-анализа.
2. Выбрать вариант технологического процесса в прил. Б.
3. Произвести FMEA-анализ согласно выбранному варианту.
4. Оформить таблицу FMEA-анализа (табл. 6.2) согласно образцу (табл. 6.1).

Образец выполнения задания 6.3

Задание: провести FMEA-анализ двигателя и определить меры предупреждения отказа.

Таблица 6.1 [5]

Уровень контрактов		Проект					Подготовлен					
Номер листа		Элемент					Одобен					
Статья задачи		Проблема					Дата					
Порядковый номер	Описание функции элемента	Код отказа	Вид отказа	Возможные причины отказа	Признак отказа	Локальные последствия	Воздействие на выход элемента	Меры, предупреждающие отказ	Класс опасности	Интенсивность отказа	Источники	Рекомендуемые действия
1.1.1	Статор двигателя	1111	Разрыв цепи	Разрыв обмотки	Искрообразование	Низкая мощность	Отключение	Установить температурное реле на одну из фаз	4	—	—	—

Продолжение табл. 6.1

Уровень контрактов		Проект					Подготовлен					
Номер листа		Элемент					Одобен					
Стадия задачи		Проблема					Дата					
Порядковый номер	Описание функции элемента	Код от-каза	Вид отказа	Возможные причины отказа	Признак отказа	Локальные последствия	Воздействие на выход элемента	Меры, предлагающие отказ	Класс опасности	Интенсивность отказа	Источники	Рекомендуемые действия
		1112	Разрыв цепи	Обрыв соединений	Искрообразование	Низкая мощность	Отключение	Установить температурное реле на одну из фаз	3	—	—	—
		1113	Нарушение изоляции	Постоянная высокая температура, производственный дефект	Включение системы защиты	Перегрузка	Нет выхода	Ежегодная проверка температурного реле	4	—	—	—
		1114	Размыкание цепи терморезистором	Старение; обрыв соединения	Включение системы защиты	—	Нет выхода	Резервирование	3	—	—	Рекомендуется резервное соединение на внешний кожух
		1115	Размыкание цепи терморезистором	Включение системы защиты	Включение системы защиты	Снижение запаса скорости срабатывания реле	Нет выхода при высокой нагрузке	Установить температурное реле	3	—	—	Рекомендуется резервное соединение

Окончание табл. 6.1

Уровень контрактов			Проект					Подготовлен				
Номер листа			Элемент					Одобрен				
Статья задачи			Проблема					Дата				
Порядковый номер	Описание функции элемента	Код от-каза	Вид отказа	Возможные причины отказа	Признак отказа	Локальные последствия	Воздействие на выход элемента	Меры, предупреждающие отказ	Класс опасности	Интенсивность отказа	Источники данных	Рекомендуемые действия
1.1.2	Система охлаждения двигателя	1121	Неадекватное охлаждение	Блокировка низкой разности давлений	Высокая температура статора	Быстро меняющаяся температура	Быстро изменяется температура статора	Установить температурное реле на статор	2	—	—	на внешний кожух
		1122	Утечка в атмосферу	Неисправность трубопровода	Температура двигателя	Неадекватное охлаждение двигателя	Быстро меняющаяся температура двигателя	Проверка температурного реле через каждые 2 ч	2	—	—	—
		1122	Поступление из атмосферы	Неисправность трубопровода	Низкий выход	Попадание воздуха в систему	—	Проверка трубопровода через каждые 2 ч	2	—	—	—
1.1.3	Поведение двигателя	1131	Неисправность прокладки. Утечка	Износ прокладки	Низкий уровень масла	Потеря масла	Нет воздействия, если утечка несерьезная	Ежедневные проверки наличия утечек	3	—	—	—

Бланк выполнения задания 6.3

Таблица 6.2

FMEA-анализ

Уровень контрактов		Проект				Подготовлен						
Номер листа		Элемент				Одобрен						
Стадия задачи		Проблема				Дата						
Порядковый номер	Описание функции элемента	Код отказа	Вид отказа	Возможные причины отказа	Признак отказа	Локальные последствия	Воздействие на выход элемента	Меры, предлагаемые отказ	Класс опасности	Интенси-вность	Источники	Рекомендуемые действия

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 26 апреля 1995 года № 7) : введен впервые : дата введения 1997-01-01 / разработан МТК 119 «Надежность в технике». – Переизд. – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, [б. г.]. – II, 12 с.
2. ГОСТ Р 27.004–2009. Надежность в технике. Модели отказов : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 года № 1244-ст : введен впервые : дата введения 2010-09-01 / разработан ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартинформ, 2010. – III, 11, [1] с.

Практическое занятие 7

Анализ надежности человеческого фактора. Методика «5 почему». Расчет техногенного риска

Форма проведения занятия – практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. Анализ надежности человеческого фактора.
2. Специфическая цель анализа надежности человеческого фактора.

Цель – научиться проводить анализ надежности человеческого фактора.

Методические указания по проведению занятия

1. Изучить нормативные правовые документы, представленные в списке рекомендуемой литературы.
2. Выполнить задания 7.1, 7.2 и 7.3.
3. Оформить отчет о практической работе.

Методические материалы к занятию

Задание 7.1. Провести анализ надежности и техногенного риска технологических процессов с помощью методики «Анализ надежности человеческого фактора».

Рекомендации по выполнению задания

1. Выбрать вариант по первым двум буквам фамилии в прил. А.
2. Согласно варианту выбрать в прил. Б технологический процесс по вашей специализации.
3. В технологическом процессе, выбранном в прил. Б, определить этап, на котором работник может совершить ошибку с наибольшей вероятностью.
4. Выявить действия технической системы.
5. Определить задачи для выполнения работником.
6. Составить перечень возможных человеческих ошибок.
7. Представить возможные ошибки человека, определить их причины и разработанные меры предупреждения в табл. 7.1 согласно образцу выполнения задания.

Образец выполнения задания

«Рассмотрим систему, для запуска которой используют ключ (например, поезд). Предположим, что этот ключ должен быть заменен на электронную карту (по любой причине). Аналогичное решение используется в нескольких разновидностях автоматических кассовых аппаратов. Необходимо оценить влияние этого изменения на работоспособность системы (относительно прежнего решения).

Оценку проводят поэтапно.

Этап 1. Рассматривают поведение водителя в конкретных условиях работы и его взаимодействие с системой при запуске поезда. Задача человека состоит в том, чтобы ввести карту и код для подтверждения своей личности.

Этап 2. Проводят распознавание кода. Интерфейс известен из опыта эксплуатации кассовых аппаратов. Он состоит из читающего устройства, дисплея и числовой клавиатуры для введения личного кода.

Этап 3. Определяют задачи:

- а) ввод карты;
- б) ввод правильного кода.

Этап 4. Возможные человеческие ошибки приведены в таблице (см. табл. 7.1. – Авт.)» [9].

Таблица 7.1

Ошибки, которые может совершить человек [9]

Задача эта-па 3	Челове-ческая ошибка	Причина	Мера предупреждения
а)	1. Водитель забыл или потерял карту	Неправильный способ хранения карты	Установленные способы хранения или футляр для карты, который удобен для водителя
		Невнимательность водителя	Проверки наличия карты у водителя (или напоминание перед началом работы). Обеспечение водителя резервными картами
	2. Карта находится в условиях, которые делают ее нечитаемой	Неправильный способ хранения карты	Проверки наличия карты у водителя (или напоминание перед началом работы). Обеспечение водителя резервными картами
		Неправильное обращение с картой	Обучение обращению с картой. Регулярные проверки способов хранения. Обеспечение водителей бесконтактными картами как альтернативный проект (рентабельность которого должна проверяться)
б)	1. Водитель забыл код	Плохая память	Обучение или как альтернатива: водитель выбирает код сам (номер, который является более простым для запоминания) вместо назначения кода системы
	2. Водитель ввел неправильный код	Ошибка при вводе кода	Обеспечение возможности как минимум одного повторного набора кода. Дизайн клавиатуры должен быть эргономичным для сокращения ошибок (например, клавиши не должны быть слишком маленькими, должны быть легко читаемыми, клавиатура должна подавать сигнал, когда код набран, и т. д.)

Задание 7.2. Провести анализ надежности и техногенного риска с помощью методики «5 почему» для выбранного технологического процесса.

Рекомендации по выполнению задания

1. Сформулировать проблему (описать ситуацию) в выбранном ранее техпроцессе (техпроцесс берется из задания 7.1).
2. Задать вопрос: «Почему могла возникнуть данная ситуация?».
3. Определить причины возникновения ситуации.
4. Постановка вопроса «почему?» к каждой причине.
5. Определить меры по устранению проблемы.
6. Выполнить задание и оформить по образцу [9].

Образец выполнения задания

«Возникшая проблема: размытое изображение на печатной копии документа.

Последовательно отвечая на вопрос „почему?“, находим причины возникшей проблемы: заправка принтера неоригинальными чернилами и отсутствие ответственного за обслуживание. После выявления причин возникновения проблемы необходимо предложить меры по ее устранению. В приведенном примере (рис. 9) такой мерой может быть назначение ответственного за обслуживание оборудования, задачей которого будет поддержание работоспособного состояния принтера» [9].

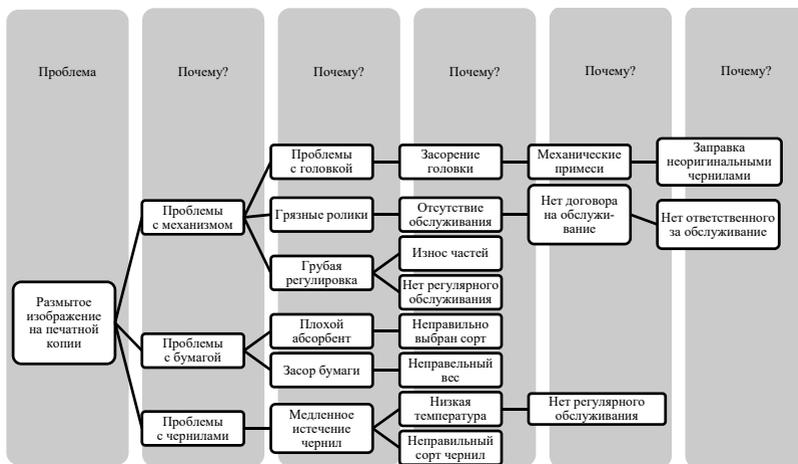


Рис. 9. Применение методики «5 почему?» [9]

Задание 7.3. Провести количественную оценку риска.

Рекомендации по выполнению задания

1. Ознакомиться с методами определения количественной оценки риска.
2. Выбрать задание по своему варианту из табл. 7.3.
3. Произвести численную оценку риска согласно варианту задания из табл. 7.3.
4. Проанализировать данные табл. 7.2 и сделать вывод.
5. Оформить протокол отчета.

Образец выполнения задания

Задание: «провести численную оценку риска чрезвычайного события технической системы, состоящей из четырех подсистем с независимыми отказами.

Вероятность отказов подсистем составляет: $P_1 = 10^{-4}$, $P_2 = 10^{-2}$, $P_3 = 10^{-2}$, $P_4 = 10^{-3}$.

Ожидаемые ущербы от отказов составляют: $U_1 = 12 \cdot 10^6$ рублей, $U_2 = 20 \cdot 10^6$ рублей, $U_3 = 35 \cdot 10^6$ рублей, $U_4 = 58 \cdot 10^6$ рублей.

Величина риска чрезвычайного происшествия технической системы составляет:

$$R = \sum P_i \cdot U_i = 10^{-4}(12 \cdot 10^6) + 10^{-2}(20 \cdot 10^6) + 10^{-2}(35 \cdot 10^6) + 10^{-3}(58 \cdot 10^6) = 609,2 \cdot 10^3.$$

Вывод: исходя из таблицы (см. табл. 7.2. – Авт.), риск чрезвычайного происшествия технической системы является высоким» [9].

Таблица 7.2

Оценка величины риска [9]

Полученное значение величины риска	Оценка величины риска
Менее $100 \cdot 10^3$	Малый риск
$100 \cdot 10^3 - 300 \cdot 10^4$	Средний риск
Более $300 \cdot 10^4$	Высокий риск

Примечание: приведенная шкала является условной.

Таблица 7.3

Варианты для выполнения заданий [9]

№ варианта	Вероятность отказов, P_i	Ожидаемый ущерб, U_i
1	$10^{-3}; 10^{-6}; 10^{-4}$	$14 \cdot 10^6$ руб.; $50 \cdot 10^3$ руб.; $34 \cdot 10^4$ руб.
2	$10^{-4}; 10^{-2}; 10^{-6}$	$20 \cdot 10^6$ руб.; $50 \cdot 10^3$ руб.; $30 \cdot 10^4$ руб.
3	$10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-5}$	$1 \cdot 10^6$ руб.; $56 \cdot 10^6$ руб.; $39 \cdot 10^6$ руб.
4	$10^{-2}; 10^{-3}; 10^{-6}$	$45 \cdot 10^6$ руб.; $78 \cdot 10^7$ руб.; $90 \cdot 10^6$ руб.
5	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-4}$	$19 \cdot 10^6$ руб.; $54 \cdot 10^3$ руб.; $44 \cdot 10^4$ руб.
6	$10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-2}$	$60 \cdot 10^6$ руб.; $23 \cdot 10^6$ руб.; $87 \cdot 10^4$ руб.
7	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$10 \cdot 10^4$ руб.; $35 \cdot 10^4$ руб.; $20 \cdot 10^4$ руб.
8	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$55 \cdot 10^6$ руб.; $67 \cdot 10^6$ руб.; $12 \cdot 10^6$ руб.
9	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-4}$	$25 \cdot 10^6$ руб.; $11 \cdot 10^4$ руб.; $16 \cdot 10^3$ руб.
10	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-3}$	$10 \cdot 10^3$ руб.; $88 \cdot 10^4$ руб.; $65 \cdot 10^6$ руб.
11	$10^{-3}; 10^{-3}; 10^{-6}$	$14 \cdot 10^4$ руб.; $50 \cdot 10^5$ руб.; $34 \cdot 10^4$ руб.
12	$10^{-6}; 10^{-5}; 10^{-4}$	$14 \cdot 10^4$ руб.; $50 \cdot 10^8$ руб.; $34 \cdot 10^3$ руб.
13	$10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-6}$	$60 \cdot 10^5$ руб.; $50 \cdot 10^6$ руб.; $70 \cdot 10^2$ руб.
14	$10^{-2}; 10^{-3}; 10^{-6}$	$55 \cdot 10^2$ руб.; $20 \cdot 10^3$ руб.; $16 \cdot 10^5$ руб.
15	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-3}$	$44 \cdot 10^4$ руб.; $60 \cdot 10^6$ руб.; $60 \cdot 10^5$ руб.
16	$10^{-3}; 10^{-5}; 10^{-7}$	$56 \cdot 10^5$ руб.; $78 \cdot 10^6$ руб.; $35 \cdot 10^4$ руб.
17	$10^{-8}; 10^{-7}; 10^{-4}$	$10 \cdot 10^6$ руб.; $10 \cdot 10^4$ руб.; $55 \cdot 10^3$ руб.
18	$10^{-3}; 10^{-5}; 10^{-8}$	$1 \cdot 10^4$ руб.; $59 \cdot 10^5$ руб.; $39 \cdot 10^4$ руб.
19	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-6}$	$15 \cdot 10^6$ руб.; $55 \cdot 10^4$ руб.; $36 \cdot 10^3$ руб.
20	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-7}$	$36 \cdot 10^5$ руб.; $50 \cdot 10^4$ руб.; $11 \cdot 10^4$ руб.
21	$10^{-2}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$17 \cdot 10^2$ руб.; $58 \cdot 10^5$ руб.; $65 \cdot 10^2$ руб.
22	$10^{-3}; 10^{-6}; 10^{-8}$	$19 \cdot 10^5$ руб.; $80 \cdot 10^4$ руб.; $40 \cdot 10^3$ руб.
23	$10^{-6}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$40 \cdot 10^3$ руб.; $42 \cdot 10^4$ руб.; $77 \cdot 10^3$ руб.
24	$10^{-2}; 10^{-3}; 10^{-4}$	$53 \cdot 10^3$ руб.; $51 \cdot 10^5$ руб.; $38 \cdot 10^4$ руб.
25	$10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}$	$16 \cdot 10^2$ руб.; $60 \cdot 10^3$ руб.; $35 \cdot 10^5$ руб.
26	$10^{-5}; 10^{-5}; 10^{-6}$	$28 \cdot 10^5$ руб.; $79 \cdot 10^6$ руб.; $11 \cdot 10^4$ руб.
27	$10^{-3}; 10^{-7}; 10^{-6}$	$62 \cdot 10^3$ руб.; $15 \cdot 10^6$ руб.; $65 \cdot 10^4$ руб.
28	$10^{-4}; 10^{-5}; 10^{-7}$	$50 \cdot 10^5$ руб.; $45 \cdot 10^6$ руб.; $38 \cdot 10^4$ руб.
29	$10^{-3}; 10^{-8}; 10^{-7}$	$77 \cdot 10^3$ руб.; $78 \cdot 10^6$ руб.; $79 \cdot 10^4$ руб.

№ варианта	Вероятность отказов, P_i	Ожидаемый ущерб, U_i
30	$10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-8}$	$56 \cdot 10^5$ руб.; $78 \cdot 10^6$ руб.; $35 \cdot 10^4$ руб.
31	$10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-7}$	$84 \cdot 10^5$ руб.; $62 \cdot 10^6$ руб.; $11 \cdot 10^4$ руб.
32	$10^{-7}; 10^{-8}; 10^{-3}$	$77 \cdot 10^5$ руб.; $91 \cdot 10^6$ руб.; $13 \cdot 10^4$ руб.
33	$10^{-6}; 10^{-7}; 10^{-9}$	$90 \cdot 10^5$ руб.; $82 \cdot 10^6$ руб.; $56 \cdot 10^4$ руб.
34	$10^{-8}; 10^{-9}; 10^{-7}$	$9 \cdot 10^5$ руб.; $70 \cdot 10^6$ руб.; $55 \cdot 10^4$ руб.
35	$10^{-5}; 10^{-6}; 10^{-8}$	$58 \cdot 10^5$ руб.; $99 \cdot 10^6$ руб.; $104 \cdot 10^4$ руб.
36	$10^{-2}; 10^{-5}; 10^{-6}$	$22 \cdot 10^5$ руб.; $60 \cdot 10^6$ руб.; $60 \cdot 10^4$ руб.
37	$10^{-2}; 10^{-7}; 10^{-6}$	$98 \cdot 10^5$ руб.; $65 \cdot 10^6$ руб.; $62 \cdot 10^4$ руб.
38	$10^{-6}; 10^{-5}; 10^{-7}$	$20 \cdot 10^5$ руб.; $18 \cdot 10^6$ руб.; $35 \cdot 10^4$ руб.
39	$10^{-7}; 10^{-6}; 10^{-8}$	$33 \cdot 10^6$ руб.; $60 \cdot 10^3$ руб.; $72 \cdot 10^4$ руб.
40	$10^{-7}; 10^{-4}; 10^{-8}$	$16 \cdot 10^6$ руб.; $67 \cdot 10^3$ руб.; $95 \cdot 10^4$ руб.
41	$10^{-7}; 10^{-5}; 10^{-4}$	$8 \cdot 10^6$ руб.; $60 \cdot 10^3$ руб.; $64 \cdot 10^4$ руб.
42	$10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-7}$	$76 \cdot 10^6$ руб.; $98 \cdot 10^3$ руб.; $89 \cdot 10^4$ руб.
43	$10^{-6}; 10^{-7}; 10^{-8}$	$49 \cdot 10^6$ руб.; $70 \cdot 10^7$ руб.; $92 \cdot 10^6$ руб.
44	$10^{-8}; 10^{-7}; 10^{-6}$	$91 \cdot 10^6$ руб.; $87 \cdot 10^7$ руб.; $88 \cdot 10^6$ руб.
45	$10^{-2}; 10^{-6}; 10^{-7}$	$14 \cdot 10^6$ руб.; $47 \cdot 10^3$ руб.; $42 \cdot 10^4$ руб.
46	$10^{-4}; 10^{-7}; 10^{-8}$	$80 \cdot 10^6$ руб.; $25 \cdot 10^3$ руб.; $42 \cdot 10^4$ руб.
47	$10^{-5}; 10^{-6}; 10^{-7}$	$47 \cdot 10^6$ руб.; $83 \cdot 10^7$ руб.; $77 \cdot 10^6$ руб.
48	$10^{-7}; 10^{-4}; 10^{-5}$	$45 \cdot 10^8$ руб.; $78 \cdot 10^5$ руб.; $100 \cdot 10^2$ руб.
49	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-8}$	$80 \cdot 10^6$ руб.; $97 \cdot 10^7$ руб.; $99 \cdot 10^6$ руб.
50	$10^{-3}; 10^{-4}; 10^{-7}$	$42 \cdot 10^6$ руб.; $56 \cdot 10^3$ руб.; $10 \cdot 10^4$ руб.

Рекомендуемая литература

- ГОСТ Р 51901.5–2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2005 года № 236-ст : введен впервые : дата введения 2006-02-01 / подготовлен ОАО НИЦ КД. – Москва : Стандартинформ, 2005. – IV, 43, [1] с.

2. ГОСТ Р 51901.1–2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 июня 2002 года № 236-ст : введен впервые : дата введения 2003-09-01 / подготовлен АО НИЦ КД. – Москва : Издательство стандартов, 2002. – IV, 22 с.
3. ГОСТ Р МЭК 31010–2021. Надежность в технике. Методы оценки риска : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 сентября 2021 года № 1011-ст : введен впервые : дата введения 2022-01-01 / подготовлен ЗАО «НИЦ КД». – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – IV, 89, [1] с.

Практическое занятие 8

Анализ надежности системы с помощью методики «Древовидная диаграмма» и по методике «Галстук-бабочка»

Форма проведения занятия – практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. Причинно-следственный анализ.
2. Анализ «Галстук-бабочка».

Цель – научиться анализировать надежность системы с помощью предложенных методик.

Методические указания по проведению занятия

1. Изучить нормативные правовые документы, представленные в списке рекомендуемой литературы.
2. Выполнить задания 8.1 и 8.2.
3. Оформить отчет о практической работе.

Методические материалы к занятию

Задание 8.1. Построить древовидную диаграмму для устранения выбранной проблемы.

Рекомендации по выполнению задания

1. Обозначить проблему в выбранном ранее техпроцессе из задания 7.1 (прил. Б).
2. Определить обобщенные причины возникновения проблемы.
3. Определить подпричины.
4. Распределить вероятности по обобщенным причинам, затем по подпричинам, приняв вероятность возникновения причины за 1.
5. Построить древовидную диаграмму согласно образцу.

Образец выполнения задания

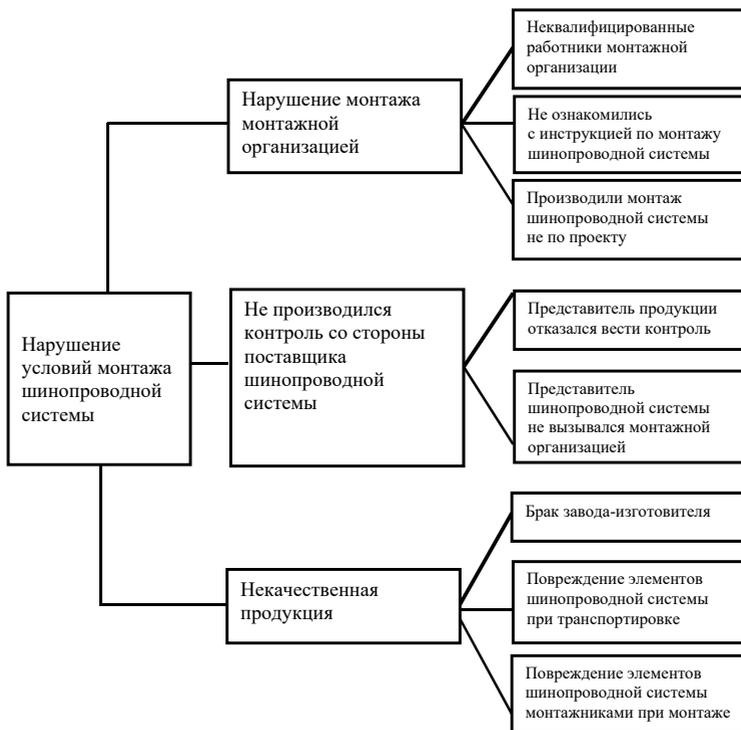


Рис. 10. Пример выполнения древовидной диаграммы [9]

Задание 8.2. Провести анализ надежности с помощью методики «Галстук-бабочка».

Рекомендации по выполнению задания

1. Определить опасное событие (нежелательное событие) в выбранном ранее технологическом процессе из задания 7.1 (прил. Б).
2. Составить перечень причин события.
3. Определить факторы эскалации опасного события.
4. Определить последствия опасного события.
5. Разработать методы предотвращения опасного события.
6. Нанести данные на диаграмму по представленному ниже образцу.

Образец выполнения задания

Задание: провести анализ ситуации «выход из строя автопогрузчика».

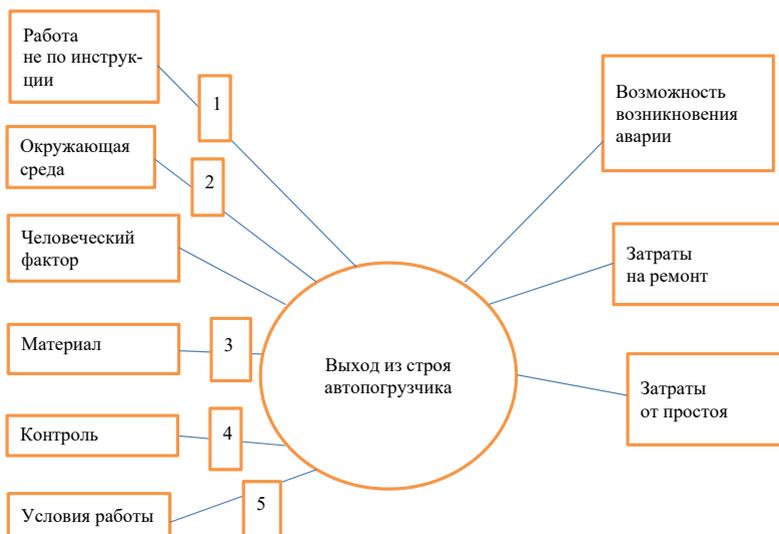


Рис. 11. Пример выполнения диаграммы «Галстук-бабочка»:

- 1 – обеспечение контроля работы по инструкции;
2 – проведение обучения; 3 – проведение контроля соответствия;
4 – проведение своевременного технического обслуживания;
5 – пересмотр графика работы [9]

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ Р 51901.5–2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2005 года № 236-ст : введен впервые : дата введения 2006-02-01 / подготовлен ОАО НИЦ КД. – Москва : Стандартинформ, 2005. – IV, 43, [1] с.
2. ГОСТ Р 51901.1–2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 июня 2002 года № 236-ст : введен впервые : дата введения 2003-09-01 / подготовлен АО НИЦ КД. – Москва : Издательство стандартов, 2002. – IV, 22 с.
3. ГОСТ Р МЭК 31010–2021. Надежность в технике. Методы оценки риска : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 сентября 2021 года № 1011-ст : введен впервые : дата введения 2022-01-01 / подготовлен ЗАО «НИЦ КД». – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – IV, 89, [1] с.

Практическое занятие 9

Анализ надежности системы по радиальной диаграмме, с помощью диаграммы Парето, с помощью диаграммы Исикавы

Форма проведения занятия – практическая работа.

Вопросы для обсуждения

1. Радиальная диаграмма.
2. Анализ Парето.
3. Диаграмма Исикавы.

Цель – научиться проводить анализ надежности системы по радиальной диаграмме.

Методические указания по проведению занятия

1. Изучить нормативные правовые документы, представленные в списке рекомендуемой литературы.
2. Выполнить задания 9.1, 9.2 и 9.3.
3. Оформить отчет о практической работе.

Методические материалы к занятию

Задание 9.1. Построить радиальную диаграмму.

Рекомендации по выполнению задания

1. Выбрать вариант задания согласно прил. В.
2. Построить диаграмму. Этапы работы:
 - 1) начертить окружность. Радиус этой окружности равен среднему показателю изучаемого явления;
 - 2) разделить окружность на секторы. Число секторов должно соответствовать интервалам изучаемого времени цикла. Если изучаются данные по каждому кварталу года, то окружность следует разделить на 4 сектора. Если необходимо сравнить какие-либо данные, представленные по дням недели, то окружность следует разделить на 7 секторов. В случае если анализируемая информация рассматривается за годовой период, то окружность следует разделить на 12 секторов;
 - 3) на каждом радиусе окружности отложить в выбранном масштабе значения статистических данных за определенный период времени;
 - 4) соединить конечные точки отрезков линиями. Полученный многоугольник изображает колебания значения статистических данных за определенный период времени [9].

Образец выполнения задания

Таблица 9.1

Исходные данные – число отказов системы за год [9]

Месяц	Число отказов системы
Январь	11
Февраль	4
Март	2
Апрель	1
Май	2
Июнь	3
Июль	4
Август	11
Сентябрь	7
Октябрь	7
Ноябрь	8
Декабрь	5

«Начертим окружность и разделим ее на 12 секторов, поскольку представленная для анализа информация – это число отказов системы за год, то есть за 12 месяцев.

Отложим на каждом радиусе значение числа отказов в каждом месяце.

Соединим конечные точки отложенных отрезков. Полученный многоугольник и будет изображать колебания значения статистических данных за год (рис. 12)» [9].

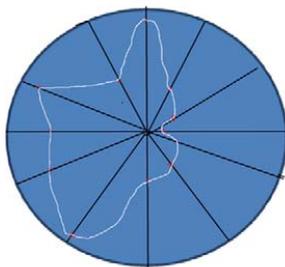


Рис. 12. Пример построения радиальной диаграммы [9]

Задание 9.2. Построить диаграмму Парето.

«Рекомендации по выполнению задания»

1. Выбрать вариант задания из прил. Г.
2. В прямоугольной системе координат по оси абсцисс отложить равные отрезки, соответствующие рассматриваемым факторам, по оси ординат – величину их вклада в рассматриваемую проблему.
3. Построить столбиковую диаграмму по образцу на рис. 13.
4. Нанести на диаграмму все обозначения и надписи.
5. Построить диаграмму Парето согласно образцу» [9].

Исходные данные для построения диаграммы удобно представить в виде таблицы по образцу табл. 9.2.

Диаграмму можно построить, воспользовавшись стандартными диаграммами Word.

Образец выполнения задания

Таблица 9.2

Исходные данные [9]

Виды отказов	Число отказов
Тип 1	104
Тип 2	42
Тип 3	20
Тип 4	10
Тип 5	6
Тип 6	4
Тип 7	14
Итого	200

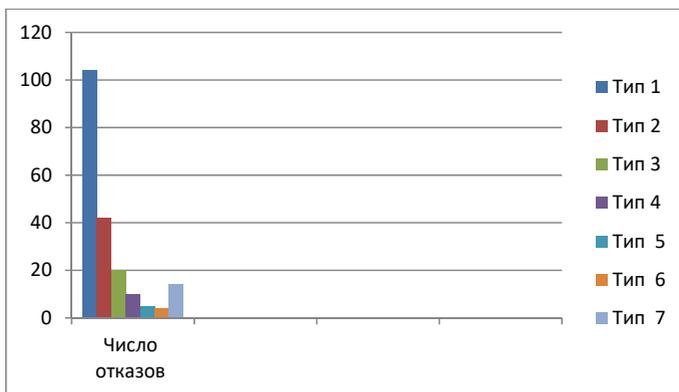


Рис. 13. Пример построения диаграммы Парето [9]

Задание 9.3. Провести анализ надежности с помощью диаграммы Исикавы.

Рекомендации по выполнению задания

1. Ознакомиться с методом «Диаграмма Исикавы».
2. Определить проблему, подлежащую исследованию, в ранее выбранном технологическом процессе (задание 7.1, прил. Б).
3. Определить ключевые категории причин возникновения проблемы.
4. Детализировать причины на составляющие.
5. Выявить наиболее значимую причину, влияющую на исследуемую проблему.
6. Предложить меры воздействия.

Образец выполнения задания

Задача: выявить проблему выхода из строя автопогрузчика.

Вывод. Ключевой причиной выхода из строя автопогрузчика является низкий уровень подготовленности водителя автопогрузчика (рис. 14). Необходимо принять следующие меры: отправить водителя автопогрузчика на дополнительные курсы по эксплуатации автопогрузчика [9].

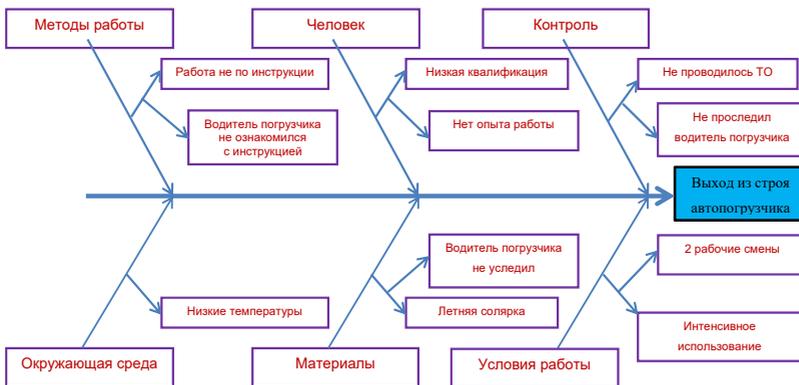


Рис. 14. Диаграмма Исикавы для выявления проблемы выхода из строя автопогрузчика [9]

Рекомендуемая литература

1. ГОСТ Р 51901.5–2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2005 года № 236-ст : введен впервые : дата введения 2006-02-01 / подготовлен ОАО НИЦ КД. – Москва : Стандартиформ, 2005. – IV, 43, [1] с.
2. ГОСТ Р 51901.1–2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 июня 2002 года № 236-ст : введен впервые : дата введения 2003-09-01 / подготовлен АО НИЦ КД. – Москва : Издательство стандартов, 2002. – IV, 22 с.
3. ГОСТ Р МЭК 31010–2021. Надежность в технике. Методы оценки риска : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 сентября 2021 года № 1011-ст : введен впервые : дата введения 2022-01-01 / подготовлен ЗАО «НИЦ КД». – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – IV, 89, [1] с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Необходимо самостоятельно изучить материал, не вошедший в курс лекций, по следующим модулям.

Модуль 1. Математический аппарат расчета надежности технических систем

Тема 1.1. Понятие о надежности. Термины и определения.

Тема 1.2. Состав и общие правила задания требований по надежности. Расчет надежности.

Модуль 2. Методы анализа надежности технических систем и оценки рисков

Тема 2.1. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Общие положения, методика проведения.

Тема 2.2. Модели отказов.

Тема 2.3. Анализ надежности различными методами. Методы анализа рисков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе изучения курса студенты усвоят основные понятия и терминологию в области надежности технических систем, правила установления критериев отказов и предельных состояний, а также методы расчета надежности и общие рекомендации по их применению.

Овладеют основами проведения анализа видов, последствий и критичности отказов, методиками проведения анализа, моделями отказов. Смогут применить полученные знания при расчете надежности технических систем различными методами; отработать навыки построения диаграмм, анализа надежности технических систем.

По итогам изучения курса студенты будут владеть методами обеспечения и повышения надежности техники в процессе ее разработки и эксплуатации для снижения риска нарушения безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.003–2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 22 ноября 2016 года № 93-П) : взамен ГОСТ 27.003–90 : дата введения 2017-09-01 / разработан АО «НПФ “ЦКБА”». – Переизд. – Москва : Стандартинформ, 2018. – IV, 18 с.
2. ГОСТ Р 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 октября 2021 года № 1104-ст : введен впервые : дата введения 2022-01-01 / разработан ЗАО «НИЦ КД». – Москва : Российский институт стандартизации, 2021. – IV, 34, [1] с.
3. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 26 апреля 1995 года № 7) : введен впервые : дата введения 1997-01-01 / разработан МТК 119 «Надежность в технике». – Переизд. – Минск : Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, [б. г.]. – II, 12 с.
4. ГОСТ Р 27.004–2009. Надежность в технике. Модели отказов : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 года № 1244-ст : введен впервые : дата введения 2010-09-01 / разработан ФГУП «ВНИИНМАШ». – Москва : Стандартинформ, 2010. – III, 11, [1] с.
5. ГОСТ Р 51901.5–2005 (МЭК 60300-3-1:2003). Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федераль-

- ного агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 сентября 2005 года № 236-ст : введен впервые : дата введения 2006-02-01 / подготовлен ОАО НИЦ КД. — Москва : Стандартинформ, 2005. — IV, 43, [1] с.
6. ГОСТ Р 51901.1—2002. Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 7 июня 2002 года № 236-ст : введен впервые : дата введения 2003-09-01 / подготовлен АО НИЦ КД. — Москва : Издательство стандартов, 2002. — IV, 22 с.
7. ГОСТ Р МЭК 31010—2021. Надежность в технике. Методы оценки риска : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 сентября 2021 года № 1011-ст : введен впервые : дата введения 2022-01-01 / подготовлен ЗАО «НИЦ КД». — Москва : Российский институт стандартизации, 2021. — IV, 89, [1] с.
8. ГОСТ 31010—2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 декабря 2011 года № 680-ст : введен впервые : дата введения 2012-12-01 / подготовлен АНО «НИЦ КД». — Москва : Стандартинформ, 2012. — IV, 69, [1] с. — URL: meganorm.ru/Data2/1/4293791/4293791964.pdf (дата обращения: 09.08.2024).
9. Резникова, И. В. Надежность технических систем и техногенный риск : электрон. учеб.-метод. пособие / И. В. Резникова ; Тольяттинский государственный университет. — Тольятти : Издательство ТГУ, 2018. — 165 с. — URL: dspace.tltsu.ru/handle/123456789/6413 (дата обращения: 12.08.2024). — ISBN 978-5-8259-1224-0.

ГЛОССАРИЙ

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения. Безотказность в той или иной степени свойственна объекту в любом из возможных режимов его существования. В основном безотказность рассматривают применительно к использованию объекта по назначению, но во многих случаях необходима оценка безотказности при хранении и транспортировании объекта. Необходимо подчеркнуть, что показатели безотказности вводят либо по отношению ко всем возможным отказам объекта, либо по отношению к какому-либо одному виду отказов с указанием критерия отказа.

Вероятность безотказной работы — вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Вероятность восстановления — вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного значения.

Время восстановления — время, затрачиваемое непосредственно на выполнение операций по восстановлению объекта.

Готовность (объекта) — способность объекта выполнять требуемые функции в заданных условиях, в заданный момент или период времени при условии, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены.

Интенсивность отказов — условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Исправное состояние (исправность) — состояние объекта, в котором все параметры объекта соответствуют всем требованиям, установленным в документации на этот объект.

Критерий предельного состояния — признак или совокупность признаков, установленных в документации, появление которых свидетельствует о возникновении предельного состояния объекта. В зависимости от условий эксплуатации для одного и того же объекта могут быть установлены два и более критериев предельного состояния. Предельное состояние может возникнуть как в результате внутренних процессов/причин, так и внешних воздействий на объект в процессе его функционирования.

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

Надежность объекта – комплексное свойство, охватывающее в общем случае безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Например, для неремонтируемых объектов основным свойством может являться безотказность. Для ремонтируемых объектов одним из важнейших свойств может быть ремонтпригодность.

Наработка – продолжительность или объем работы объекта. Наработка может быть как непрерывной величиной (продолжительность работы в часах, километраж пробега и т. п.), так и дискретной величиной (число рабочих циклов, запусков и т. п.).

Наработка до отказа – наработка объекта от начала его эксплуатации или от момента его восстановления до отказа. Частным случаем наработки до отказа является наработка до первого отказа – наработка объекта от начала его эксплуатации до первого отказа.

Неисправное состояние (неисправность) – состояние объекта, в котором хотя бы один параметр объекта не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации на этот объект.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, в котором значение хотя бы одного из параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции, не соответствует требованиям документации на этот объект. Для сложных объектов возможно деление их неработоспособных состояний. При этом из множества неработоспособных состояний выделяют частично неработоспособные состояния, в которых объект способен частично выполнять требуемые функции. Исправный объект всегда работоспособен, неисправный объект может быть как работоспособным, так и неработоспособным. Работоспособный объект может быть исправен и неисправен, неработоспособный объект всегда неисправен.

Нерабочее состояние – состояние объекта, в котором он не выполняет ни одной из требуемых функций. Нерабочее состояние допускается подразделять, в свою очередь, на состояние резервирования и состояние планового простоя.

Объект – предмет рассмотрения, на который распространяется терминология в области надежности. Объектом может быть сборочная единица, деталь, компонент, элемент, устройство, функциональная единица, оборудование, изделие, система, сооружение. Объект может включать аппаратные средства, программное обеспечение, персонал или их комбинации. Объект может быть основным, резервируемым или резервным.

Опасное состояние – состояние объекта, которому соответствует высокая вероятность или высокая значимость неблагоприятных последствий для людей, окружающей среды и материальных ценностей. Опасное состояние может возникнуть как в результате отказа, так и в процессе работы объекта.

Подсистема – часть системы, представляющая собой систему.

Предельное состояние – состояние объекта, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно. Недопустимость дальнейшей эксплуатации устанавливается на основе критериев предельного состояния объекта.

Работоспособное состояние – состояние объекта, в котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативной и технической документации. Отсутствие необходимых внешних ресурсов может препятствовать работе объекта, но это не влияет на его пребывание в работоспособном состоянии.

Рабочее состояние – состояние объекта, в котором он выполняет хотя бы одну требуемую функцию. Работающий объект может находиться в работоспособном или в частично неработоспособном состоянии.

Система – объект, представляющий собой множество взаимосвязанных элементов, рассматриваемых в определенном контексте как единое целое, отделенное от окружающей среды.

Состояние готовности (объекта) – состояние неработающего работоспособного объекта, в котором объект может выполнять требуемые функции в заданных условиях применения при условии, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены. Работоспособный объект не всегда находится в состоянии готовности (при отсутствии необходимых ресурсов). Объект, находящийся в резерве, может в некоторых случаях подвергаться воздействию рабочих параметров резервируемого объекта.

Состояние резервирования — нерабочее состояние работоспособного объекта, находящегося в резерве, в течение заданного периода времени. В некоторых случаях объект, находящийся в резерве, может подвергаться воздействию рабочих параметров резервируемого объекта.

Среднее время восстановления — математическое ожидание времени восстановления.

Средний ресурс — математическое ожидание ресурса.

Средний срок службы — математическое ожидание срока службы.

Средняя наработка между отказами — математическое ожидание наработки объекта между отказами. В случае когда наработка между отказами подчиняется экспоненциальному распределению, ее называют средней наработкой на отказ и определяют как отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию количества его отказов в течение этой наработки.

Средняя трудоемкость восстановления — математическое ожидание трудоемкости восстановления объекта после отказа. Затраты времени и труда на проведение технического обслуживания и ремонтов с учетом конструктивных особенностей объекта, его технического состояния и условий эксплуатации характеризуются оперативными показателями ремонтпригодности.

Техническое состояние — состояние объекта в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, характеризующееся фактическими значениями параметров, установленных в документации.

Элемент — объект, у которого отсутствуют (или в рамках данного исследования не рассматривают) составные части.

Выбор варианта для практических работ

Номер варианта выбирается по первым двум буквам фамилии студента

Фамилия	№ варианта	Фамилия	№ варианта
Аа – Ам	1	Нк – Ну	26
Ан – Ая	2	Нф – Ня	27
Ба – Бм	3	Оа – Ом	28
Бн – Бя	4	Он – Оя	29
Ва – Вм	5	Па – Пм	30
Вн – Вя	6	Пн – Пя	31
Га – Гм	7	Ра – Рм	32
Гн – Гя	8	Рн – Ря	33
Да – Дм	9	Са – См	34
Дн – Дя	10	Сн – Ся	35
Еа – Ем	11	Та – Тм	36
Ен – Ея	12	Тн – Тя	37
Жа – Жм	13	У	38
Жн – Жу	14	Фа – Фи	39
За – Зм	15	Фк – Фя	40
Зн – Зя	16	Х	41
Иа – Им	17	Ц	42
Ин – Ия	18	Ча – Чи	43
Ка – Км	19	Чк – Чэ	44
Кн – Кя	20	Ша – Ши	45
Ла – Лм	21	Шк – Шэ	46
Лн – Ля	22	Щ	47
Ма – Мм	23	Э	48
Мн – Мя	24	Ю	49
На – Ни	25	Я	50

Варианты заданий для выполнения практических работ

Специализация: «Безопасность технологических процессов и производств в машиностроении»

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
1	Процесс обтяжки на обтяжных и растяжно-обтяжных прессах с ЧПУ	Обтяжные прессы, клещи, молотки, зубила
2	Процесс раскроя листов и профилей на ножницах и пилах	Пресс-ножницы с электроприводом, клещи, молотки
3	Штамповка на горизонтально-ковочных машинах	Горизонтально-ковочные машины, клещи, молотки, выколотки
4	Процессковки и штамповки на молотах	Мерительный инструмент, шаблоны, штампы, бойки, клещи, молотки
5	Процесс штамповки на высокоскоростных молотах	Высокоскоростной молот для штамповки, клещи, молотки, выколотки, ковочные и штамповочные молоты
6	Процесс штамповки на кривошипных горячештамповочных и винтовых прессах	Кривошипные горячештамповочные, винтовые прессы, клещи, молотки, кувалды
7	Процесс штамповки на гидравлических прессах	Гидравлический пресс, клещи, молотки, выколотки
8	Процесс электрогидроимпульсной штамповки	Клещи, молотки, кувалды, зубила, выколотки
9	Процесс листовой штамповки на механических и гидравлических прессах	Механический, гидравлический пресс с электроприводом
10	Штамповка с нагревом на установках радиационного типа с электрическим источником излучения	Горячештамповочные прессы, клещи, молотки, выколотки, кувалды, установки электроконтактного нагрева
11	Процесс получения, транспортирования, использования расплавов черных металлов и сплавов на основе этих металлов	Сталевозная тележка, конвейеры, конверторы, доменные печи, чугуновозные и шлаковозные ковши, вагоны-весы, подъемники

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
12	Литейные работы	Дуговые электропечи, доменные печи, вакуумная камера, плазменные печи, электронно-лучевые печи
13	Слесарные механосборочные работы	Механизмы, станки, кузова, слесарный инструмент, компенсаторы, контроллеры, валы, клапаны, корпуса
14	Электросварочные работы	Электросварочное оборудование, сварочный трансформатор
15	Газосварочные работы	Газосварочное оборудование, сварочный трансформатор, газовые баллоны
16	Токарные работы по металлу (холодная обработка металла)	Токарные станки, слесарный инструмент, станки с ЧПУ
17	Фрезерные работы по металлу (холодная обработка металла)	Фрезерные станки, слесарный инструмент
18	Сверлильные работы по металлу (холодная обработка металла)	Сверлильные станки, слесарный инструмент
19	Работа на точильных станках (холодная обработка металла)	Точильные станки, слесарный инструмент
20	Термическая обработка металлов	Плазменные установки, электронно-лучевые установки, оборудование для механической очистки деталей, лазерные установки
21	Сборка кузов	Механизмы, станки, кузова, слесарный инструмент, компенсаторы, контроллеры, валы, клапаны, корпуса
22	Окрасочные работы	Краскопульт, окрасочная камера
23	Обработка металла резанием	Металлорежущее оборудование
24	Погрузочно-разгрузочные работы	Грузоподъемные машины и механизмы, лебедка
25	Ремонтные работы	Слесарные инструменты, электрооборудование

Специализация: «Безопасность технологических процессов и производств в строительстве и производстве строительных материалов»

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
1	Производство земляных работ	Трапы, маршевые лестницы, экскаваторы, автомобили-самосвалы
2	Устройство искусственных оснований и буровые работы	Сваебойные и буровые машины, автомобили-самосвалы, канаты, буровой инструмент
3	Бетонные работы	Автомобили-самосвалы, бетоновозы, бетононасос, бетономеситель, виброплита
4	Монтажные работы	Монтажные краны, башенные краны, кондукторы
5	Каменные работы	Автомобили-самосвалы, растворовозы, монтажные краны, установка для подачи раствора
6	Отделочные работы	Стремянки, лестницы, растворонасосы, растворовозы, установка для подачи раствора, краскопульты
7	Электромонтажные и наладочные работы	Трансформаторы, электроприводы, аккумуляторные батареи
8	Электросварочные и газопламенные работы	Электрогазосварочное оборудование, сварочный трансформатор, газовые баллоны
9	Кровельные работы	Кровельные станки, кровельная горелка, раскатчик, газосварочное оборудование
10	Транспортные и погрузочно-разгрузочные работы	Автомобили, грузоподъемные машины, подъемно-транспортное оборудование, платформы, трапы
11	Строповка грузов	Грузоподъемные машины и механизмы, подмости, строповочные канаты, узлы, монтажные приспособления
12	Производство работ с применением грузоподъемных машин	Грузоподъемные машины и механизмы, стропы
13	Складирование изделий, материалов, конструкций и оборудования	Грузоподъемные машины и механизмы, стропы, лебедка

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
14	Такелажные работы	Грузоподъемные машины и механизмы, стропы, специальные суда, лодки, плоты
15	Лесосечные работы	Моторные пилы, рычаги (аншпуги), ворота, захваты, трактора, канатные установки, лебедка
16	Лесотранспортные работы	Автомобили, прицепы, роспуски, полуприцепы, вагоны-сцепы, канатные установки, конвейеры, стропы
17	Лесоскладские работы	Канатные установки, лебедки, многопильные установки
18	Процесс деревообработки	Сборные конвейеры для коры, грузоподъемные механизмы, лесопильное оборудование, пропиточные ванны, сушилки, автопогрузчики
19	Грунтовка асбестоцементных и асбестосиликатовых изделий	Асбестоцементные плиты, шпаклевочные машины, асбестосиликатовые листы, электрооборудование
20	Строительство подземных сооружений	Грузоподъемные машины и механизмы, электрооборудование, экскаваторы, лебедки
21	Процесс резки стекла	Листовое стекло, механизированные станки, стеклорезы
22	Столярно-плотницкие работы	Слесарный инструмент, плотницкий инструмент (топор, молоток, гвоздодер и т. п.), уровень, отвес
23	Кровельные работы	Кровельный ручной инструмент, электровырубные ножницы, полуавтоматические кровельные инструменты, газовая горелка, промышленный пылесос
24	Облицовка плиткой	Мастерок, молоток плиточный, плиткорез, шпатель, малярная кисть, стеклорез
25	Слесарные работы	Стамески, ножовки, рубанки, труборезы, напильники, резбонарезной инструмент, щетки, металлорежущий инструмент

Специализация: «Безопасность технологических процессов и производство в энергетике и энергоснабжении»

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
1	Установка силового трансформатора	Силовой трансформатор, грузоподъемные краны и другие строительные машины, электроустановки
2	Монтаж электропроводов и молниезащитных тросов	Грузоподъемные краны и другие строительные машины, электропровода, молниезащитные тросы, электроустановки, заземлители
3	Наладка электрооборудования мостовых кранов	Грузоподъемное оборудование, электроустановки, генераторы, преобразователи
4	Процесс натяжения проводов на линиях электропередачи	Грузоподъемное оборудование, электроустановки, генераторы, преобразователи, заземлители
5	Испытание изоляции электрооборудования повышенным напряжением	Электрооборудование, генераторы, преобразователи, заземлители, распределительные устройства
6	Испытание трансформаторов	Трансформаторы, генераторы, преобразователи, заземлители
7	Наладка электроприводов	Электроустановки, коммутационные аппараты, кабели, шина распределительного устройства, генераторы, преобразователи
8	Наладочные работы на воздушных линиях электропередачи	Грузоподъемные машины и механизмы, электроустановки, генераторы, преобразователи
9	Присоединение вновь смонтированных электроустановок к действующим	Электроустановки, генераторы, преобразователи, заземлители, грузоподъемные механизмы
10	Наладка распределительных устройств	Распределительные устройства, электрооборудование, генераторы, преобразователи
11	Электромонтаж диспетчерского оборудования и телеавтоматики	Диспетчерское оборудование, аппаратура телеавтоматики, вольтметр, электрогазосварочное оборудование, кабели, шнуры, штепсели, кнопки, микрофонные трубки

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
12	Эксплуатация сетей газораспределения и газопотребления газотурбинных и парогазовых установок	Сети газораспределения, газотурбинные, паротурбинные установки, диагностическое оборудование
13	Эксплуатация сетей газораспределения и газопотребления тепловых электрических станций	Сети газораспределения, тепловые электрические станции, диагностическое оборудование
14	Присоединение (врезка) вновь построенных наружных и внутренних газопроводов к действующим, отключение (обрезка) газопроводов (газоопасные работы)	Газопроводы, электрогазосварочное оборудование, газовые баллоны, электрооборудование, диагностическое оборудование, слесарно-монтажный инструмент
15	Продувка газопроводов при отключении или включении газоиспользующих установок в работу (газоопасные работы)	Газопроводы, электрооборудование, насосное оборудование, диагностическое оборудование, слесарно-монтажный инструмент
16	Эксплуатация и техническое обслуживание ветроэлектроустановок	Пульты управления с ЧПУ, электродвигатели, слесарный инструмент, диагностический инструмент, контрольно-измерительные приборы
17	Осуществление оперативного управления ветроэлектроустановками	Пульты управления с ЧПУ, электродвигатели, диагностическое оборудование
18	Эксплуатация гидротехнических сооружений	Дренажные системы, насосное оборудование, фильтры, напорные водоводы, сороудерживающие конструкции, специализированное механизированное оборудование
19	Техническое обслуживание гидротехнических сооружений	Дренажные системы, насосное оборудование, фильтры, напорные водоводы, сороудерживающие конструкции, специализированное механизированное оборудование
20	Техническое обслуживание и ремонт электрооборудования грузоподъемных кранов	Слесарно-монтажный инструмент, подъемники, электрооборудование, диагностический инструмент, разъединители, рубильники

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
21	Производство работ на кабельных линиях	Инструменты для монтажа кабельных сетей, слесарно-монтажный инструмент, диагностический инструмент
22	Обслуживание централизованных стрелок, рельсовых цепей, светофоров и релейных шкафов	Оборудование по наладке централизованных стрелок, рельсовых цепей, светофоров и релейных шкафов, диагностическое оборудование, индикаторы
23	Обслуживание лифтов	Лифтовое и подъемное оборудование, диагностические инструменты, набор инструментов по монтажу, демонтажу, настройке и наладке лифтового оборудования
24	Техническое обслуживание средств автоматического контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда	Электрооборудование, устройства блокировки, индикаторы тока, кабель
25	Обслуживание устройств магистральной и дорожной радиосвязи	Электрооборудование, устройства блокировки, индикаторы тока, кабель, антенно-фидерные устройства, разъединители, рубильники

Специализация: «Безопасность технологических процессов и производств в автотранспортном комплексе»

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
1	Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств	Станок для расточки седла клапана (ремонт двигателей), плоскошлифовальные станки, установки для опрессовки систем охлаждения, стенд для разборки/сборки блока цилиндров, станок для шлифовки клапанов, вакуумный тестер, слесарно-монтажный инструмент, сварочные аппараты, автомобильные подъемники, домкраты, компрессоры

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
2	Проверка технического состояния автотранспортных средств	Домкраты, автомобильные подъемники, набор ключей, набор слесарно-монтажных инструментов, электрооборудование, диагностическое оборудование, шиномонтажное оборудование
3	Техническое обслуживание, ремонт и проверка технического состояния автомобилей, работающих на газовом топливе	Автомобильные подъемники, набор ключей, набор слесарно-монтажных инструментов, электрооборудование, диагностическое оборудование, шиномонтажное оборудование, домкраты, сварочные аппараты, компрессоры
4	Мойка автотранспортных средств	Аппараты для мойки высокого давления, стационарные мойки, пенокомплекты, пылесосы, очиститель стекол, автономный мини-душ, парогенераторы
5	Слесарные и смазочные работы	Слесарно-монтажный инструмент, домкраты, автомобильные подъемники, набор ключей
6	Проверка технического состояния автотранспортных средств и их агрегатов	Домкраты, автомобильные подъемники, набор ключей, набор слесарно-монтажных инструментов, электрооборудование, диагностическое оборудование, шиномонтажное оборудование
7	Окрасочные и противокоррозийные работы	Краскопульт, толщиномер лакокрасочного покрытия, индикатор толщины немагнитных покрытий, абразив, полировальная шлифмашина, покрасочные камеры
8	Вулканизационные и шиноремонтные работы	Вулканизаторы для шиномонтажа, слесарно-монтажный инструмент, домкрат, станки для шероховки, оборудование для подачи сжатого воздуха
9	Шиномонтажные работы	Автомобильные подъемники, домкрат, слесарно-монтажный инструмент, оборудование для подачи сжатого воздуха
10	Кузовные работы	Сварочные аппараты, слесарно-монтажный инструмент, споттеры, прессы, стапели для восстановления геометрии кузова, механический, пневматический инструменты, автомобильные подъемники, домкраты, измерительные системы

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
11	Мойка автотранспортных средств	Аппараты для мойки высокого давления, стационарные мойки, пенокомплекты, пылесосы, очиститель стекол, автономный мини-душ, парогенераторы
12	Слесарные работы по контрольно-измерительным приборам и автоматике	Электрический паяльник, ручной инструмент, спирт, масла минеральные нефтяные, свинец
13	Сверловка деталей	Сверлильный станок
14	Слесарно-ремонтные работы	Наждак, станок отрезной, станок трубогибочный, пресс-ножницы, станок сверлильно-радиальный, листогибочная машина
15	Работа оператора станков с программным управлением	Токарные станки с ЧПУ: многоцелевой специальный станок, обрабатывающий центр Kitamura-Fanuc
16	Работа газорезчика	Газорезка, баллоны с углекислотой, ручной инструмент
17	Работы слесаря КИПиА (контрольно-измерительных приборов и автоматики)	ПЭВМ, электроинструмент, электрический паяльник, ручной инструмент, фильтр (сосуды под давлением), трубопровод, измерительные приборы
18	Механосборочные работы	Дрель, болгарка, заточной станок, вертикально-сверлильный станок, ручной инструмент
19	Кузнечная работа на молотах и прессах	Пневматический молот, пресс-штамп, печь, слесарно-кузнечный инструмент
20	Электрогазосварочные работы (резка и ручная сварка)	Сварочный аппарат постоянного/переменного тока, баллоны, газорезка, ручной инструмент
21	Плотницкие работы	Сверлильный станок, заточной станок, циркулярная пила, рейсмусовый станок, фрезерный станок, ручной инструмент, дрель
22	Работа аккумуляторщика	Аквадистиллятор; установка зарядная «Заряд»
23	Фрезерные работы	Универсальный фрезерный станок; строгальный станок; долбежный станок

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
24	Ремонтные работы (ремонт карбюратора)	Стенд для сборки и разборки V-образных карбюраторных двигателей грузовых автомобилей; пресс гидравлический; установка компрессорная, паяльная лампа, ручной инструмент
25	Работы по ремонту и обслуживанию электрооборудования	Электрическая дрель, шуруповерт, ручной инструмент, пневматический пресс ручной

Специализация: «Безопасность технологических процессов и производств в нефтегазовом комплексе»

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
1	Производство нефтяного кокса – замедленное коксование	Трубопровод, печь, пикнометры, термостат, баня песчаная или водяная, шкаф сушильный, устройства загрузочные
2	Производство нефтяного битума	Реакторное оборудование, автоматизированная система дозирования, смесители, коллоидная мельница, насосная станция, битумный котел, трубопровод
3	Процесс смешения бензинов с этиловой жидкостью	Станция смешения бензинов, трубопроводы, насосная станция, смесители
4	Производство метил-трет-бутилового эфира	Реакторное оборудование, насосное оборудование, трубопроводы, холодильное оборудование, электроустановки
5	Селективная очистка масляных дистиллятов	Установка очистки, насосное оборудование, трубопроводы, экстрактные аппараты, тарельчатые массообменные аппараты, теплообменное оборудование
6	Слив и налив нефтепродуктов	Насосное оборудование, компрессоры, трубопроводы, оборудование для налива нефтепродуктов в цистерны, станции тактового налива, эстакады для железнодорожного и автомобильного транспорта

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
7	Буровые работы	Буровые установки, породоразрушающий инструмент, кернорватели, желонки, колонковые соединения и трубы, шнеки, бурильные трубы, обсадные трубы, стягивающие хомуты, лебедка, пневмоинструменты
8	Освоение и испытание скважин	Компрессоры, насосное оборудование, трубопроводы, нагнетатели, колонковые соединения и трубы, лебедка
9	Эксплуатация установок и оборудования для сбора и подготовки нефти, газа и конденсата	Агрегаты, насосы, электрические датчики систем контроля, манометры, трубопроводы, компрессоры, газопроводы
10	Эксплуатация насосного и компрессорного оборудования	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
11	Ремонтные работы на автозаправочных станциях	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы
12	Ремонт и зачистка резервуаров от остатков нефтепродуктов	Резервуары, насосное оборудование, трубопроводы; инструмент, применяемый для удаления осадков (совки, скребки, ведра)
13	Ремонт насосного оборудования и технологических трубопроводов для нефтепродуктов	Резервуары, насосное оборудование, трубопроводы, инструмент, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы
14	Пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию автозаправочных станций	Насосное оборудование, трубопроводы, механизированный инструмент, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы
15	Обслуживание и ремонт компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов	Компрессорные установки, газопроводы, воздухопроводы, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы, фильтры

№ п/п	Технологический процесс	Используемое оборудование и инструменты
16	Строительство, реконструкция, техническое перевооружение и капитальный ремонт опасных производственных объектов магистральных трубопроводов	Лебедка, пневмоинструменты, резервуары, насосное и компрессорное оборудование, диагностическое оборудование
17	Консервация и ликвидация опасных производственных объектов магистральных трубопроводов	Лебедка, пневмоинструменты, резервуары, насосное и компрессорное оборудование, диагностическое оборудование
18	Обслуживание наливных станций	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
19	Работы с нефтепродуктами (хранение, использование бензинов, дизельного топлива, этилированного бензина и т. д.)	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
20	Прием и отпуск нефтепродуктов	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование, контрольно-измерительные приборы
21	Обслуживание насосных установок нефти и нефтепродуктов	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
22	Бурение скважин и установка подземного оборудования при строительстве опасных производственных объектов подземных хранилищ газа	Буровые установки, породоразрушающий инструмент, кернователи, желонки, колонковые соединения и трубы, шнеки, бурильные трубы, обсадные трубы, стягивающие хомуты, лебедка, пневмоинструменты
23	Установка подземного оборудования при строительстве объектов подземных хранилищ газа	Буровые установки, породоразрушающий инструмент, лебедка, пневмоинструменты, резервуары, насосное и компрессорное оборудование
24	Обслуживание станций нефти и нефтепродуктов	Насосное и компрессорное оборудование, трубопроводы, диагностическое оборудование
25	Хранение нефтепродуктов	Резервуары, насосное оборудование, компрессорное оборудование, диагностическое оборудование

*Исходные данные для построения радиальной диаграммы***Вариант 1**

Месяц	Число отказов
январь	1
февраль	9
март	0
апрель	4
май	1
июнь	2
июль	7
август	10
сентябрь	5
октябрь	5
ноябрь	3
декабрь	7

Вариант 2

Месяц	Число отказов
январь	10
февраль	0
март	0
апрель	6
май	4
июнь	2
июль	2
август	1
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	3
декабрь	3

Вариант 3

Месяц	Число отказов
январь	1
февраль	1
март	0
апрель	7
май	6
июнь	2
июль	2
август	0
сентябрь	6
октябрь	5
ноябрь	3
декабрь	8

Вариант 4

День недели	Число отказов
понедельник	6
вторник	1
среда	0
четверг	7
пятница	6
суббота	4
воскресенье	2

Вариант 5

День недели	Число отказов
понедельник	0
вторник	2
среда	4
четверг	8
пятница	4
суббота	6
воскресенье	0

Вариант 6

День недели	Число отказов
понедельник	1
вторник	3
среда	4
четверг	6
пятница	7
суббота	6
воскресенье	1

Вариант 7

День недели	Число отказов
понедельник	0
вторник	2
среда	3
четверг	8
пятница	4
суббота	6
воскресенье	1

Вариант 8

Месяц	Число отказов
январь	10
февраль	2
март	4
апрель	1
май	4
июнь	2
июль	2
август	1
сентябрь	7
октябрь	4
ноябрь	3
декабрь	3

Вариант 9

Месяц	Число отказов
январь	7
февраль	2
март	4
апрель	6
май	4
июнь	2
июль	2
август	1
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	9
декабрь	8

Вариант 10

Месяц	Число отказов
январь	10
февраль	2
март	4
апрель	6
май	3
июнь	2
июль	2
август	11
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	3
декабрь	10

Вариант 11

Месяц	Число отказов
январь	0
февраль	2
март	4
апрель	3
май	4
июнь	2
июль	2
август	1
сентябрь	5
октябрь	5
ноябрь	3
декабрь	1

Вариант 12

Месяц	Число отказов
январь	8
февраль	1
март	4
апрель	3
май	5
июнь	1
июль	2
август	1
сентябрь	5
октябрь	6
ноябрь	3
декабрь	2

Вариант 13

День недели	Число отказов
понедельник	2
вторник	5
среда	3
четверг	8
пятница	4
суббота	8
воскресенье	1

Вариант 14

День недели	Число отказов
понедельник	6
вторник	2
среда	8
четверг	7
пятница	4
суббота	6
воскресенье	9

Вариант 15

День недели	Число отказов
понедельник	3
вторник	1
среда	3
четверг	5
пятница	4
суббота	7
воскресенье	7

Вариант 16

Месяц	Число отказов
январь	7
февраль	2
март	4
апрель	0
май	4
июнь	10
июль	2
август	1
сентябрь	9
октябрь	5
ноябрь	3
декабрь	8

Вариант 17

Месяц	Число отказов
январь	11
февраль	2
март	4
апрель	5
май	4
июнь	6
июль	2
август	7
сентябрь	5
октябрь	2
ноябрь	3
декабрь	2

Вариант 18

День недели	Число отказов
понедельник	9
вторник	5
среда	2
четверг	8
пятница	1
суббота	8
воскресенье	1

Вариант 19

День недели	Число отказов
понедельник	9
вторник	6
среда	8
четверг	9
пятница	2
суббота	8
воскресенье	9

Вариант 20

День недели	Число отказов
понедельник	10
вторник	7
среда	8
четверг	7
пятница	3
суббота	9
воскресенье	2

Вариант 21

Месяц	Число отказов
январь	7
февраль	1
март	4
апрель	5
май	5
июнь	6
июль	9
август	7
сентябрь	0
октябрь	2
ноябрь	7
декабрь	4

Вариант 22

Месяц	Число отказов
январь	4
февраль	8
март	4
апрель	7
май	3
июнь	6
июль	2
август	2
сентябрь	5
октябрь	4
ноябрь	0
декабрь	10

Вариант 23

Месяц	Число отказов
январь	7
февраль	4
март	4
апрель	5
май	3
июнь	1
июль	2
август	2
сентябрь	5
октябрь	4
ноябрь	3
декабрь	7

Вариант 24

День недели	Число отказов
понедельник	4
вторник	7
среда	8
четверг	7
пятница	3
суббота	0
воскресенье	9

Вариант 25

День недели	Число отказов
понедельник	9
вторник	8
среда	8
четверг	7
пятница	3
суббота	9
воскресенье	1

Вариант 26

День недели	Число отказов
понедельник	2
вторник	7
среда	4
четверг	7
пятница	3
суббота	6
воскресенье	1

Вариант 27

День недели	Число отказов
понедельник	9
вторник	9
среда	2
четверг	7
пятница	0
суббота	9
воскресенье	1

Вариант 28

День недели	Число отказов
понедельник	7
вторник	8
среда	4
четверг	4
пятница	2
суббота	9
воскресенье	1

Вариант 29

Месяц	Число отказов
январь	11
февраль	7
март	4
апрель	6
май	4
июнь	2
июль	1
август	1
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	9
декабрь	4

Вариант 30

Месяц	Число отказов
январь	7
февраль	0
март	1
апрель	1
май	3
июнь	2
июль	2
август	1
сентябрь	8
октябрь	5
ноябрь	0
декабрь	8

Вариант 31

День недели	Число отказов
понедельник	7
вторник	8
среда	6
четверг	7
пятница	2
суббота	2
воскресенье	1

Вариант 32

День недели	Число отказов
понедельник	10
вторник	8
среда	7
четверг	7
пятница	3
суббота	9
воскресенье	1

Вариант 33

День недели	Число отказов
понедельник	4
вторник	8
среда	0
четверг	7
пятница	3
суббота	9
воскресенье	1

Вариант 34

Месяц	Число отказов
январь	11
февраль	2
март	4
апрель	6
май	4
июнь	2
июль	2
август	0
сентябрь	7
октябрь	1
ноябрь	9
декабрь	8

Вариант 35

Месяц	Число отказов
январь	1
февраль	2
март	4
апрель	6
май	5
июнь	3
июль	2
август	1
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	9
декабрь	11

Вариант 36

Месяц	Число отказов
январь	3
февраль	2
март	4
апрель	2
май	8
июнь	2
июль	2
август	10
сентябрь	7
октябрь	2
ноябрь	9
декабрь	8

Вариант 37

День недели	Число отказов
понедельник	2
вторник	8
среда	1
четверг	7
пятница	4
суббота	9
воскресенье	1

Вариант 38

День недели	Число отказов
понедельник	1
вторник	8
среда	2
четверг	7
пятница	3
суббота	9
воскресенье	9

Вариант 39

День недели	Число отказов
понедельник	0
вторник	8
среда	4
четверг	7
пятница	3
суббота	9
воскресенье	2

Вариант 40

Месяц	Число отказов
январь	3
февраль	2
март	4
апрель	2
май	0
июнь	2
июль	1
август	1
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	9
декабрь	8

Вариант 41

Месяц	Число отказов
январь	9
февраль	9
март	7
апрель	2
май	1
июнь	4

Месяц	Число отказов
июль	2
август	1
сентябрь	8
октябрь	5
ноябрь	1
декабрь	8

Вариант 42

День недели	Число отказов
понедельник	2
вторник	8
среда	1
четверг	4
пятница	3
суббота	9
воскресенье	7

Вариант 43

Месяц	Число отказов
январь	5
февраль	10
март	3
апрель	2
май	6
июнь	2
июль	7
август	1
сентябрь	7
октябрь	2
ноябрь	9
декабрь	2

Вариант 44

Месяц	Число отказов
январь	5
февраль	2
март	1
апрель	2
май	1
июнь	2
июль	3
август	1
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	3
декабрь	8

Вариант 45

День недели	Число отказов
понедельник	5
вторник	8
среда	3
четверг	7
пятница	3
суббота	9
воскресенье	1

Вариант 46

День недели	Число отказов
понедельник	6
вторник	8
среда	0
четверг	7
пятница	3
суббота	0
воскресенье	1

Вариант 47

День недели	Число отказов
понедельник	5
вторник	8
среда	1
четверг	7
пятница	3
суббота	9
воскресенье	2

Вариант 48

День недели	Число отказов
понедельник	4
вторник	8
среда	3
четверг	7
пятница	3
суббота	2
воскресенье	1

Вариант 49

Месяц	Число отказов
январь	3
февраль	2
март	4
апрель	2
май	1
июнь	3
июль	2
август	1
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	7
декабрь	8

Вариант 50

Месяц	Число отказов
январь	9
февраль	2
март	6
апрель	2
май	3
июнь	2
июль	2
август	1
сентябрь	7
октябрь	5
ноябрь	9
декабрь	3

Задания для построения диаграммы Парето

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
1	Тип 1	46
	Тип 2	34
	Тип 3	12
	Тип 4	13
	Тип 5	45
2	Тип 1	98
	Тип 2	75
	Тип 3	1
	Тип 4	43
	Тип 5	5
3	Тип 1	2
	Тип 2	11
	Тип 3	4
	Тип 4	5
	Тип 5	1
	Тип 6	7
4	Тип 1	5
	Тип 2	3
	Тип 3	4
	Тип 4	7
	Тип 5	1
	Тип 6	1
5	Тип 1	1
	Тип 2	8
	Тип 3	1
	Тип 4	5
	Тип 5	2
	Тип 6	3

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
6	Тип 1	22
	Тип 2	31
	Тип 3	16
	Тип 4	98
	Тип 5	45
7	Тип 1	38
	Тип 2	77
	Тип 3	90
	Тип 4	76
	Тип 5	56
8	Тип 1	40
	Тип 2	62
	Тип 3	10
	Тип 4	11
	Тип 5	40
9	Тип 1	89
	Тип 2	78
	Тип 3	10
	Тип 4	97
	Тип 5	9
10	Тип 1	16
	Тип 2	76
	Тип 3	67
	Тип 4	23
	Тип 5	11
11	Тип 1	23
	Тип 2	28
	Тип 3	45
	Тип 4	3
	Тип 5	12

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
12	Тип 1	70
	Тип 2	92
	Тип 3	13
	Тип 4	13
	Тип 5	85
13	Тип 1	23
	Тип 2	65
	Тип 3	77
	Тип 4	3
	Тип 5	43
14	Тип 1	46
	Тип 2	33
	Тип 3	18
	Тип 4	19
	Тип 5	64
15	Тип 1	55
	Тип 2	78
	Тип 3	90
	Тип 4	53
	Тип 5	11
16	Тип 1	51
	Тип 2	18
	Тип 3	95
	Тип 4	35
	Тип 5	16
17	Тип 1	44
	Тип 2	65
	Тип 3	87
	Тип 4	35
	Тип 5	10

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
18	Тип 1	13
	Тип 2	16
	Тип 3	97
	Тип 4	45
	Тип 5	22
19	Тип 1	56
	Тип 2	87
	Тип 3	96
	Тип 4	50
	Тип 5	19
20	Тип 1	58
	Тип 2	15
	Тип 3	78
	Тип 4	79
	Тип 5	34
21	Тип 1	55
	Тип 2	78
	Тип 3	90
	Тип 4	53
	Тип 5	11
22	Тип 1	12
	Тип 2	45
	Тип 3	76
	Тип 4	41
	Тип 5	29
23	Тип 1	95
	Тип 2	62
	Тип 3	27
	Тип 4	2
	Тип 5	15

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
24	Тип 1	32
	Тип 2	34
	Тип 3	59
	Тип 4	50
	Тип 5	20
25	Тип 1	48
	Тип 2	87
	Тип 3	56
	Тип 4	35
	Тип 5	11
26	Тип 1	30
	Тип 2	34
	Тип 3	52
	Тип 4	50
	Тип 5	20
27	Тип 1	23
	Тип 2	34
	Тип 3	50
	Тип 4	57
	Тип 5	20
28	Тип 1	20
	Тип 2	14
	Тип 3	15
	Тип 4	53
	Тип 5	20
29	Тип 1	13
	Тип 2	43
	Тип 3	26
	Тип 4	50
	Тип 5	21

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
30	Тип 1	38
	Тип 2	30
	Тип 3	50
	Тип 4	56
	Тип 5	20
31	Тип 1	53
	Тип 2	58
	Тип 3	57
	Тип 4	51
	Тип 5	25
32	Тип 1	25
	Тип 2	34
	Тип 3	25
	Тип 4	50
	Тип 5	18
33	Тип 1	44
	Тип 2	37
	Тип 3	50
	Тип 4	53
	Тип 5	26
34	Тип 1	50
	Тип 2	39
	Тип 3	49
	Тип 4	48
	Тип 5	50
35	Тип 1	17
	Тип 2	34
	Тип 3	34
	Тип 4	50
	Тип 5	11

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
36	Тип 1	56
	Тип 2	30
	Тип 3	52
	Тип 4	50
	Тип 5	52
37	Тип 1	28
	Тип 2	26
	Тип 3	88
	Тип 4	51
	Тип 5	19
38	Тип 1	15
	Тип 2	34
	Тип 3	40
	Тип 4	49
	Тип 5	45
39	Тип 1	44
	Тип 2	30
	Тип 3	51
	Тип 4	80
	Тип 5	28
40	Тип 1	26
	Тип 2	44
	Тип 3	34
	Тип 4	21
	Тип 5	20
41	Тип 1	21
	Тип 2	34
	Тип 3	17
	Тип 4	21
	Тип 5	24

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
42	Тип 1	32
	Тип 2	38
	Тип 3	54
	Тип 4	37
	Тип 5	13
43	Тип 1	45
	Тип 2	37
	Тип 3	23
	Тип 4	56
	Тип 5	39
44	Тип 1	16
	Тип 2	34
	Тип 3	19
	Тип 4	43
	Тип 5	42
45	Тип 1	12
	Тип 2	38
	Тип 3	61
	Тип 4	58
	Тип 5	57
46	Тип 1	45
	Тип 2	34
	Тип 3	34
	Тип 4	44
	Тип 5	18
47	Тип 1	16
	Тип 2	25
	Тип 3	50
	Тип 4	49
	Тип 5	27

Вариант	Виды отказов	Число отказов системы
48	Тип 1	25
	Тип 2	22
	Тип 3	44
	Тип 4	21
	Тип 5	24
49	Тип 1	12
	Тип 2	36
	Тип 3	49
	Тип 4	20
	Тип 5	10
50	Тип 1	50
	Тип 2	18
	Тип 3	45
	Тип 4	53
	Тип 5	24

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
СТРУКТУРА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПОСОБИЯ	5
КРИТЕРИИ И НОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ	7
Модуль 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	8
Модуль 2. МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ОЦЕНКИ РИСКОВ	15
Практическое занятие 1. Определение количественных характеристик надежности по статистическим данным об отказах изделия	40
Практическое занятие 2. Последовательное соединение элементов в систему. Расчет надежности системы с постоянным резервированием. Прогнозирование интенсивности отказов	48
Практическое занятие 3. Надежность станков в машиностроительной отрасли. Анализ видов, последствий и критичности отказов	59
Практическое занятие 4. Надежность оборудования нефтеперекачивающих станций. Анализ видов, последствий и критичности отказов	67
Практическое занятие 5. Надежность оборудования станций технического обслуживания автомобилей. Анализ видов, последствий и критичности отказов	77
Практическое занятие 6. Анализ надежности системы с помощью методик «Дерево неисправностей», «Дерево событий», «Анализ видов и последствий отказов», «Диверсионный анализ»	86
Практическое занятие 7. Анализ надежности человеческого фактора. Методика «5 почему». Расчет техногенного риска	93

Практическое занятие 8. Анализ надежности системы с помощью методики «Древовидная диаграмма» и по методике «Галстук-бабочка»	100
Практическое занятие 9. Анализ надежности системы по радиальной диаграмме, с помощью диаграммы Парето, с помощью диаграммы Исикавы	103
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	109
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	110
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	111
ГЛОССАРИЙ	113
Приложение А	117
Приложение Б	118
Приложение В	130
Приложение Г	150

Учебное издание

Полякова Екатерина Владимировна

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Учебно-методическое пособие

Редактор *Е.В. Пилясова*

Технический редактор *Н.П. Крюкова*

Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*

Дизайн обложки: *И.И. Шишкина*

*В оформлении обложки использованы изображение
от Freepik и jcomr на сайте ru.freepik.com*

Подписано в печать 08.09.2025. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 9,35.

Тираж 100 экз. Заказ № 1-20-24.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru