

**Министерство сельского хозяйства
Российской Федерации**

**Технологический институт-филиал ФГБОУ ВО
Ульяновский ГАУ**

С.Н. Петряков
М.Е. Дежаткин
А.А. Хохлов

**ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**
(краткий курс лекций)



Димитровград - 2019

УДК 629
ББК 39.3
П - 31

Петряков, С.Н. Основы работоспособности технических систем / С.Н. Петряков, М.Е. Дежаткин, А.А. Хохлов - Димитровград: Технологический институт – филиал УлГАУ, 2019.- 98 с.

Рецензенты: Глущенко Андрей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
Ротанов Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Естественнонаучные и технические дисциплины», ПКИУПТ (филиал) ФГБОУ ВО «МГУТУ ИМ. К.Г.РАЗУМОВСКОГО (ПКУ)»

Основы работоспособности технических систем: краткий курс лекций предназначен для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Утверждено
на заседании кафедры «Эксплуатация
транспортно-технологических машин и комплексов»
Технологического института – филиала
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ,
протокол № 1 от 4 сентября 2019г.

Рекомендовано
к изданию методическим советом Тех-
нологического института – филиала
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ
Протокол № 2 от 10 октября 2019г.

© С.Н. Петряков, М.Е. Дежаткин, А.А. Хохлов., 2019
© Технологический институт – филиал ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ,
2019

1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Этапы развития научно-технического направления «Работоспособность».
2. Законы, характеризующие работоспособность транспортных средств, технологических машин и оборудования.
3. Причины нарушения работоспособности технических систем.
4. Физическое и моральное старение технических систем.
5. Виды трения с позиции надежности.

1 Этапы развития научно-технического направления «Работоспособность»

Надёжность – один из наиболее основных показателей, определяющих функциональные особенности технических систем.

Система - объект, представляющий собой совокупность элементов, взаимодействующих в процессе выполнения определенного круга задач и взаимосвязанных функционально.

Сложная система – это объект, предназначенный для выполнения заданных функций, который может быть расчленен на элементы, каждый из которых также выполняет определенные функции и находится во взаимодействии с другими элементами системы.

Зародившись при развитии учения о качестве как условие обеспечения бездефектного производства данное направление особенно актуально для сложных технических систем, отказы которых связаны с прямой угрозой для человеческой жизни (транспорт, авиация, ракетно-космическая техника) или экологическими последствиями (химическая, газо и нефтеперерабатывающая промышленность, ядерная энергетика). Оценка фактического состояния сложных технических систем, прогнозирование динамики изменения состояния в процессе эксплуатации, обнаружение отказа, определение остаточного ресурса - эти задачи составляют части единой проблемы – обеспечение безотказного функционирования сложных технических систем.

Научно-техническое направление «Надёжность технических систем» прошло в своём развитии ряд этапов. В начале прошлого века под «надёжностью» понимали «запас» прочности. Однако такой «запас» приводил часто к увеличению габаритов и массы изделий и соответственно к дополнительному расходу материалов.

Основой для решения задач по обеспечению надёжности явились теория вероятности и математическая статистика.

В 30–е годы прошлого века была установлена статистическая природа коэффициентов запаса прочности и сформулировано понятие отказа как повышение нагрузки над прочностью.

Надёжность как теория получила особо бурное развитие с интенсификацией электроники и автоматики, авиации и ракетно-космической техники.

В пятидесятые годы прошлого века проблемы надёжности стали рассматриваться на государственном уровне в СССР и США.

Научно-техническое направление «надёжность» можно разделить на три этапа:

- 50-ые годы прошлого столетия – становление направления.
- 60-ые годы прошлого столетия – становление классической теории надёжности.
- 70-ые годы и по настоящее время – этап системных методов надёжности.

В настоящее время проблема обеспечения надёжности сложных технических систем становится всё более актуальной, т. к. увеличивается сложность технических систем и возрастает многообразие решаемых задач в технике, а также возрастает ответственность за результат отказов сложных технических систем в различных отраслях.

2 Общие принципы обеспечения работоспособности сложных технических систем

Успешное решение проблем обеспечения надёжности сложных технических систем зависит от качества организационного, технического, информационного и методологического обеспечения.

Организационное обеспечение включает в себя порядок планирования и реализации работ по обеспечению надёжности, организацию служб надёжности, экономические, административные и правовые отношения между заказчиком, разработчиком и изготовителем продукции.

Техническое обеспечение определяется оснащением отраслей вычислительной техники, экспериментальной и производственной базой, уровнем технологии и метрологии.

Информационное обеспечение – это средства и способы сбора, накопления, отработки и использования данных о процессах разработки и эксплуатации систем, результатов анализа отказов и дефектов, а также данных по принятым мерам предупреждения, контроля и защиты от последствий этих отклонений.

Методологическое обеспечение включает в себя теоретическую базу и инженерные методы анализа надёжности систем на различных стадиях разработки, а также методы и алгоритмы, используемые при реализации и анализе результатов внедрения программ обеспечения надёжности.

Одним из главных направлений в обеспечении надёжности сложных технических систем является совершенствование самой организационной структуры, а также в разработке и реализации дополнительных мероприятий, стимулирующих повышение надёжности.

С помощью организационных документов устанавливается единый порядок создания систем, определяются основные требования к службам надёжности предприятий, устанавливаются задачи подразделений надёжности, вырабатываются общие правила организации обмена информации и т. д.

Для решения задач обеспечения надёжности сложных технических систем используется программно-целевой метод управления процессом их создания и применения. На основе этого метода составляется единый сквозной план разработки системы, который координирует затраты, сроки и трудоёмкость всех основных работ. Так как существенную часть затрат средств и времени определяют работы, связанные с обеспечением надёжности, то для каждой конкретной создаваемой системы предусмотрена разработка программы обеспечения надёжности (ПОН).

Основными задачами ПОН являются:

- 1) Определение перечня работ и мероприятий, проводимых на всех этапах создания и эксплуатации систем.
- 2) Обоснование возможности создания системы с требуемой надёжностью.
- 3) Разработка документов по надёжности.
- 4) Планирование и руководство всеми работами в области надёжности.
- 5) Обеспечение контроля за выполнением работ и оценки их результатов.

Для этих целей разработаны единая типовая структура программы обеспечения надёжности.

3 Причины нарушения работоспособности технических систем

В процессе эксплуатации технические системы подвергаются различным воздействиям и их служебные свойства изменяются. Можно выделить три источника воздействий:

- 1) *Внешние*, связанные с условиями работы, включая действия оператора, управляющего машиной и проводящего техническое обслуживание и ремонт;
- 2) *Внутренние*, связанные с рабочими процессами, протекающими в машине и соединениях деталей (рабочий процесс в двигателе внутреннего сгорания);
- 3) *Потенциальная энергия*, накопленная в деталях машин при их изготовлении (различные внутренние напряжения).

Все источники воздействий, проявляющиеся в виде механической, тепловой, химической энергии, вызывают в деталях машин необратимые процессы и приводят к изменению параметров.

Отказы деталей возникают в основном из-за усталости материала, коррозионного разрушения, изнашивания поверхностей трения. Они классифицируются по ряду признаков:

1. По природе происхождения - естественные и преднамеренные;
2. По месту возникновения (определяют слабые элементы объекта, требующие усиления или изменения конструкции);
3. По времени возникновения (позволяют судить о моменте его появления в течение «жизненного» цикла машины);
4. По характеру возникновения - внезапные, постепенные, перемещающиеся, устойчивые, самоустраняющиеся и сбой.

Физическая природа внезапных отказов - усталость металлов. Физическая природа постепенных отказов - накопление необратимых изменений в поверхностных слоях деталей.

5. По взаимосвязи отказов (определяют их совместимость). К зависимым отказам относят заедание вкладышей коленчатого вала, возникающее, например, вследствие отказа масляного насоса двигателя;

6. По внешним признакам (определяют доступность обнаружения отказов);

7. По степени воздействия отказов (позволяют сделать заключение о возможности дальнейшего использования объекта или его элемента).

При полном отказе неремонтируемых элементов их работоспособность не восстанавливают. Частичный отказ присущ ремонтируемым объектам и их элементам. Эти отказы часто называют соответственно ресурсными и эксплуатационными;

8. По причине возникновения:

- исследовательские (ошибки конструирования);
- расчетно-конструкторские (ошибки выбора кинематики);
- производственно-технологические (несовершенство технологии);
- эксплуатационные (нарушение правил эксплуатации, перегрузки, нарушения графика технического обслуживания);

9. По последствиям или затратам: тяжчайшие с человеческими жертвами (отказ рулевого управления или тормозов); тяжелые, средние и незначительные (в зависимости от затрат времени и средств на их устранение).

Отказы подразделяют по группам сложности.

- первая группа - отказы, устраняемые ремонтом или заменой деталей, расположенных снаружи сборочных единиц, и агрегатов без разборки последних, а также отказы, устранение которых требует внеочередного проведения операций ТО-1 и ТО-2;

- вторая группа - отказы, устраняемые ремонтом или заменой легкодоступных сборочных единиц и агрегатов (или их деталей), а также отказы, устранение которых требует раскрытия внутренних полостей основных агрегатов без их разборки или внеочередного проведения операций ТО-3;

- третья группа - отказы, для устранения которых необходима разборка основных агрегатов.

4 Физическое и моральное старение технических систем

Физическое старение технических систем - это изменение с течением времени свойств материалов, деталей, узлов машин под действием различных полей (физического, химического), приводящее к тому, что объект не может больше выполнять свои функции.

Физическое старение подразделяется на два рода:

- физическое старение при эксплуатации;
- старение при бездействии машин.

Моральным старением называется уменьшение стоимости в связи с научно-техническим прогрессом. Оно может происходить по двум причинам:

- из-за снижения стоимости новых машин той же конструкции;
- из-за появления более современных конструкций машин. Моральное старение - это экономическая категория, которая оценивается критерием морального износа α_M :

$$\alpha_M = \frac{C - C_B}{C},$$

где C - первоначальная стоимость машин, руб.;

C_B - стоимость воспроизводства машин с учетом появления более совершенной конструкции и снижения ее стоимости, руб.

5 Виды трения

Трение является основной причиной износа деталей машин, а следовательно и отказов.

Проблемы трения, изнашивания и смазки изучает наука трибология, базирующаяся на фундаментальных законах физики, химии, механики сплошных сред, термодинамики и материаловедения.

Согласно ГОСТ 23.002-78 (обеспечение износостойкости изделий), различают:

- *внешнее трение* - явление сопротивления относительно перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей;

- *внутреннее трение* - в жидкостях, газах, пластичных материалах.

Рассматривают трение скольжения, трение качения, трение покоя. Амонтон сформулировал закон для случая сухого трения скольжения

$$F_{СК} = f \times P$$

где f - коэффициент трения скольжения;

P - нормальная к плоскости трения нагрузка (давление тел друг на друга).

Физик Б. В. Дерягин предложил молекулярную теорию трения, согласно которой

$$F = f \times (P + p_o \times S)$$

где f - истинный коэффициент трения;

p_o - добавочное давление, вызванное силами ионно-атомного притяжения;

S - площадь контакта.

Сила сухого трения качения шара или цилиндра по плоской поверхности по закону Кулона

$$F_{КАЧ} = f_R \frac{P}{r}$$

где f_k - коэффициент трения качения;

r - радиус шара или цилиндра.

Сила трения качения примерно в 100 раз меньше силы трения скольжения.

В настоящее время теория трения базируется на трех теоретических положениях.

Первое теоретическое положение. Сила внешнего трения имеет физико-химическую природу:

$$F = v_1 \times F_d + v_2 \times F_a$$

где v_1 – коэффициент, учитывающий соотношение прочности шероховатостей трущихся поверхностей в зависимости от их химической природы;

F_d – составляющая механических взаимодействий;

v_2 – коэффициент, учитывающий изменение степени химического сродства трущихся поверхностей, или прочность их адгезионного сцепления;

F_a – составляющая адгезионного взаимодействия поверхностей трения.

Второе теоретическое положение (по Б.Н. Костецкому). Оно основано на первом законе термодинамики и гласит, что работа внешнего трения A расходуется на образование теплоты и поглощение энергии:

$$A = Q + \Delta E$$

где Q - работа внешнего трения, перешедшая в теплоту;

ΔE - количество энергии, поглощенное поверхностными слоями трущихся деталей.

Третье теоретическое положение (об установившемся процессе трения). При установившемся трении происходит износ детали и динамическое саморегулирование образования и разрушения вторичных структур.

При заданном материале, характере взаимодействия и среде трения существует область изменения режима трения, в которой интеграл отношения запасенной энергии к работе сил трения по деформируемому объему принимает минимальное значение:

$$\int \frac{\Delta E}{A} \times dV \rightarrow \min$$

где V - объем, воспринимающий нагружение трением.

Рассмотрев основные положения теории внешнего трения твердых тел, можно научно обоснованно управлять процессом изнашивания деталей машин, сведя износ деталей к минимуму.

2 ИЗНАШИВАНИЕ И ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Поверхностные явления при трении сопряженных тел.
2. Классификация процессов изнашивания.
3. Методы определения величины износа.
4. Определение предельного и допустимого износа деталей.

1. Поверхностные явления при трении сопряженных тел

Строение поверхностного слоя твердых тел и происходящие в нем явления играют особую роль при протекании большинства процессов старения и разрушения материалов.

Состояние поверхностного слоя определяет процессы при изнашивании, коррозии и т.п.

Особое влияние поверхностного слоя материала на работоспособность изделия связано со следующими причинами:

- поверхностные слои твердого тела наделены избытком энергии, т.к. молекулы и атомы, находящиеся у поверхности, имеют свободные связи. Они способствуют возникновению таких явлений, как поглощение (адсорбция), сцепления (когезия), прилипания (адгезия), смачивания и другие виды взаимодействия с веществами внешней среды.

- поверхностный слой формируется в результате разнообразных технологических процессов.

Физико-химические параметры поверхностного слоя, его структура и напряженное состояние, как правило, существенно отличаются от свойств всего объема материала.

- в процессе эксплуатации идет непрерывное изменение (трансформация) параметров поверхностного слоя в значительно большей степени, чем изменения, происходящие по всему объему тел.

Параметры, применяемые для оценки состояния поверхностных слоев, характеризуют:

- геометрию поверхностного слоя, включая микрогеометрию и дефекты поверхности;

- напряжения, возникающие в поверхностных слоях, как на отдельных участках поверхности, так и в микрообъемах;

- структуру поверхностного слоя, как следствие пластической деформации и температурных влияний, окислительных процессов и других воздействий;

- структуру прилегающих к поверхности адсорбированных тонких слоев смазки с участием ориентации молекул поверхностно-активных веществ.

На работоспособность сопряжения влияние оказывает:

1. Микрогеометрия поверхности - овальность, конусность и т.п.

2. Микрогеометрия поверхности – шероховатость, волнистость,, а также дефекты: трещины, сколы, царапины и др. локальные отклонения от установленного рельефа.

Важной характеристикой поверхностного слоя детали является также показатель его напряженного состояния, проявляющего в виде внутренних остаточных напряжений (существует напряжения 1, 2 и 3 рода).

Напряженное состояние поверхностного слоя оказывает существенное влияние на его эксплуатационные характеристики.

Исключительно важное влияние на процесс изнашивания поверхностного слоя играет смазка.

2 Классификация процессов изнашивания

Изнашивание - процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела при трении и (или) увеличения его остаточной деформации, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела.

Износ является результатом изнашивания, определяемым в установленных единицах.

Одна из зависимостей износа детали или соединения от времени выглядит следующим образом (рисунок 2.1).

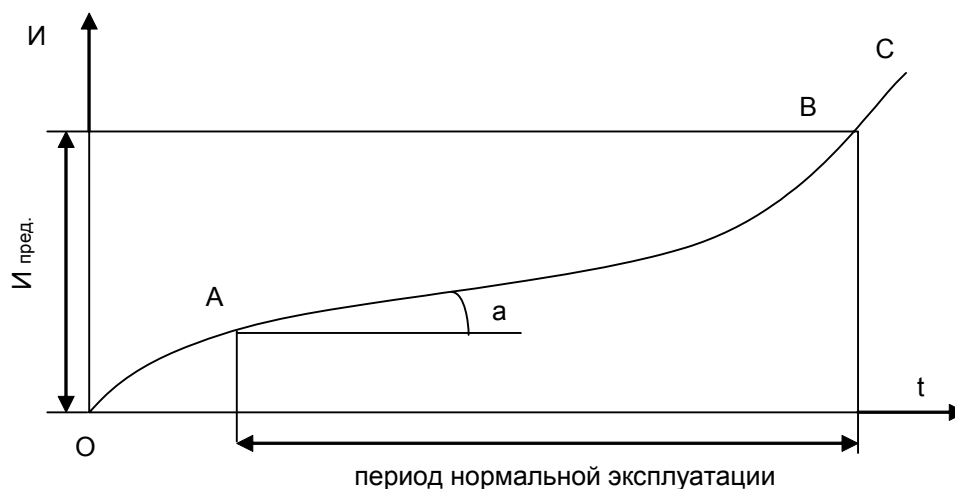


Рисунок 2.1 - Зависимость износа детали или соединения от времени

В теоретическом и практическом отношениях ценность представляют удельные показатели процесса изнашивания.

Скорость изнашивания:

$$V = \frac{i}{t},$$

где i - величина износа;
 t - время изнашивания.

$$V = \frac{dU}{dt},$$

где U - значение изнашивания;
 t - время изнашивания.

Темп изнашивания:

$$T = \frac{\Delta h}{t_p},$$

где t_p - единица наработки;

$$T = \frac{dU}{dt_p},$$

где dU - величина износа;
 dt_p - значение наработки.

3. Интенсивность изнашивания:

$$I = \frac{i}{s},$$

где s - путь трения.

$$I = \frac{dU}{dL},$$

где dL - путь трения.

Износостойкость – свойство материала сопротивляться изнашиванию. Это величина, обратная скорости изнашивания.

Установлено десять классов износостойкости (3...12), в классе пять разрядов (таблица 2.1).

Таблица 2.1 Классы и разряды износостойкости

Класс	3					4					...	11					12				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		...	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Интенсивность изнашивания	10^{-3}					10^{-4}					10^{-5}	10^{-11}					10^{-12}				

При обозначении деталей пишут, например: ЦПГ-КИ 12-11, точение – КИ 8/4, направляющие станины КИ 9/4 -10/5. Здесь первые две цифры - класс, через дробь - разряд. Интервал записывается так, чтобы в нем находились 95 % всех размеров.

Износ металлов зависит от большого числа факторов. Четко разделить действия отдельных факторов сложно. Поэтому для количественного описания процессов изнашивания при внешнем трении наиболее приемлемы теория вероятностей и методы математической статистики.

Изнашивание деталей подразделяется на механическое и коррозионно-механическое (рисунок 2.1, таблица 2.2).

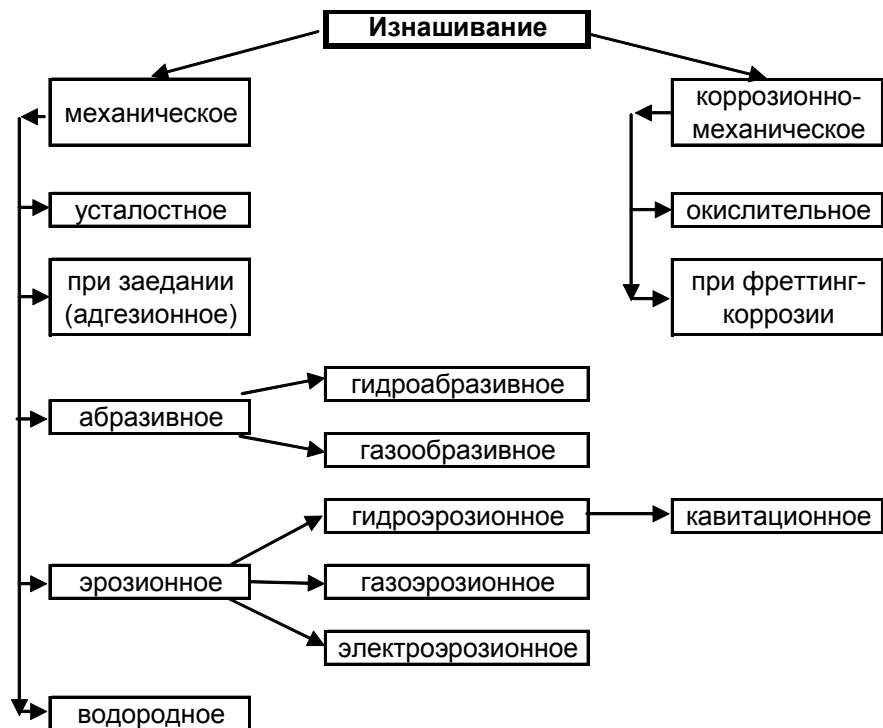


Рисунок 2.2 - Классификация видов изнашивания

Таблица 2.2 - Определение видов изнашивания

Вид изнашивания	Определение	Пример
1	2	3
Усталостное	Механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микроразделов материала поверхностного слоя	Подшипники
При заедании (адгезионное)	Изнашивание в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности трения на другую и воздействия возникающих неровностей на сопряженную поверхность	Втулка Колеса плуга
При фреттинге	Механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях	Шлицы
Абразивное	Механическое изнашивание материала в результате в основном режущего или царапающего действия на него твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии	Лемех плуга

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Гидро(газо)абразивное	Абразивное изнашивание в результате действия твердых частиц, взвешенных в жидкости (газе) и перемещающихся относительно изнашиваемого тела	Плунжерные пары, выпускные клапаны
Эрозионное	Механическое изнашивание в результате воздействия потока жидкости и (или) газа	Насосы
Гидро(газо) эрозионное	То же	Насосы
Электроэрозионное	Эрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока	Контакты прерывателей
Кавитационное	Гидроэрозионное изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное повышение давления или температуры	Турбины
Водородное	Повреждение поверхностей при трении в результате выделения водорода из окружающей среды или из компонентов пар трения и его накопления в тонком поверхностном слое	Тормозные колодки, барабаны, диски
Окислительное	Коррозионно-механическое изнашивание, при котором основное влияние на изнашивание имеет химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой	Шарнирно-болтовые соединения
При фреттинг-коррозии	Коррозионно-механическое изнашивание соприкасающихся тел при малых колебательных относительных перемещениях	Пружины, вкладыши

Изучение процесса изнашивания показывает, что оно имеет тройственную (механо-физико-химическую) природу:

1. Непосредственный механический контакт (или через среду);
2. Химическая реакция активного слоя металла;
3. Разрушение структуры металла.

3 Методы определения величины износа

В практике исследования износостойкости деталей применяется ряд методов: оценка износа по изменению параметров машины; микрометрирование; взвешивание; снятие профилограмм; метод искусственных баз; радиоизотопные методы (радиоактивные изотопы и индикаторы, нейтронная активация); спектральный и химический анализ.

Микрометрирование. *Преимущества:* непосредственное измерение, простота и доступность, возможность наблюдения поверхностей износа.

Недостатки: длительность испытаний и большая трудоемкость, зависимость результатов от величины деформации детали, неизбежность сборки и разборки.

Взвешивание. *Преимущества:* точность измерения до 0,0001 г, простота - для мелких деталей.

Недостатки: необходима разборка узлов, затруднено измерение линейного износа, требуется тщательная очистка.

Снятие профилограмм. *Преимущества:* высокая точность измерений, возможность определения шероховатости и волнистости.

Недостатки: большая трудоемкость из-за операций разборки-сборки; сложность снятия профилограмм; невозможность исследования деталей, подверженных пластической деформацией.

Метод искусственных баз. *Преимущества:* возможность оценки износа детали при продолжительном испытании и применение его для определения износа деталей из мягких сплавов и соединений с высокими контактными напряжениями.

Недостатки: большая трудоемкость - в 1,5 раза выше, чем при микрометрировании из-за необходимости расчетов глубины лунки h_1 и износа ΔI :

$$h_1 = \frac{l_1^2}{8} \times \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right],$$
$$\Delta I = \frac{1}{8} \times [l_1^2 - l_2^2] \times \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right],$$

где l_1 - длина лунки;

r - радиус лунки после износа;

R - радиус лунки до износа;

l_2 - длина лунки после износа.

Метод спектрального анализа. *Преимущества:* не требует разборки и специальной подготовки, кроме отключения фильтров, высокая чувствительность, возможность проследить динамику.

Недостаток: позволяет определять только суммарную величину износа всех стальных и чугуновых деталей.

Метод радиоактивных изотопов. *Преимущества:* не требует разборки, высокая чувствительность, высокая скорость исследований.

Недостатки: дорогостоящее оборудование, специальные меры защиты, сложность процесса активации.

Метод радиоактивных индикаторов. *Преимущества:* непрерывный контроль, точность наблюдений.

Недостаток: дорогостоящее оборудование.

Метод нейтронной активации. *Преимущество:* простота исследования.

Недостатки: сложность процесса активации и измерения.

4 Определение предельного и допустимого износа деталей

Критериями для оценки предельного состояния износа пары трения:

- потеря прочности в результате износа детали и возможность ее поломки;
- изменения вида трения, при увеличении зазора при износе пары трения;
- износ упрочненного поверхностного слоя, после чего существенно возрастает интенсивность изнашивания;
- изменения системы сил, действующих на механизм, в результате чего он не сможет выполнять свои функции.

Предельное состояние деталей устанавливают по предельному износу. Рекомендуются три критерия предельного состояния деталей и соединений: технический (безотказность), технологический (качество работы) и экономический.

Предельные износы базовых деталей часто устанавливают на базе практических данных по эксплуатации и ремонту машин.

Для определения ресурса детали T необходимо иметь кривую износа детали в зависимости от наработки и значения предельного износа I_{np} , тогда:

$$T = \frac{I_{np}}{v},$$

Допустимым называется такой износ, при котором деталь сможет проработать в машине еще один межремонтный срок:

$$I_{дон} = I_{np} - v \times T_{mp},$$

$$v = \frac{I_{np}}{T_{mp}},$$

$$I_{дон} = \frac{I_{np}}{1 - \frac{T_{mp}}{T_p}}$$

где T_{mp} – межремонтный ресурс;

T_p – время работы до ремонта.

3 КАЧЕСТВО ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Концепции обеспечения качества.
2. Показатели качества.
3. Оценка уровня качества продукции.
4. Качество технического обслуживания и ремонта техники.

1 Концепции обеспечения качества

Децентрализация ремонтно-обслуживающих предприятий в целях максимального обеспечения регионов услугами по обслуживанию и ремонту техники в новых условиях повысила актуальность проведения их сертификации с позиции улучшения технического сервиса.

Современные концепции обеспечения качества можно охарактеризовать как всесторонние и всеобъемлющие. Анализ концепций обеспечения качества показывает, что на каждом этапе развития к качеству предъявляются все новые и новые требования (рисунок 3.1).

Качество изделия - совокупность свойств продукции (объекта, изделия), обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.

Известно, что фирмы, не использующие системы качества для повышения эффективности производства, теряют на возвратах некачественной продукции около 20 % от суммарной стоимости всего объема выпуска.

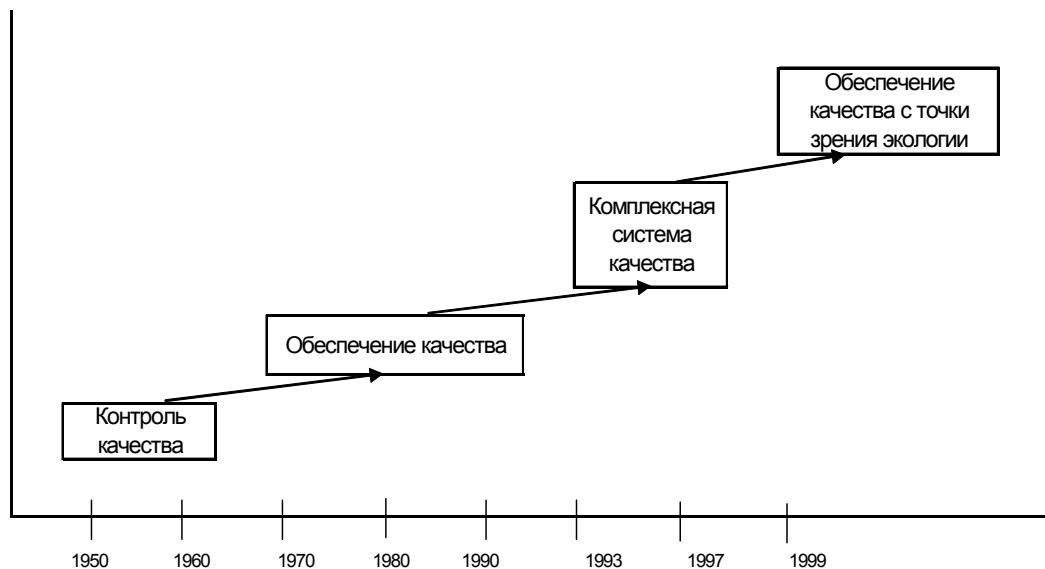


Рисунок 3.1 - Изменение концепций обеспечения качества

Количественные показатели - единственное средство для оценки экономических последствий сертификации (рисунок 3.2).

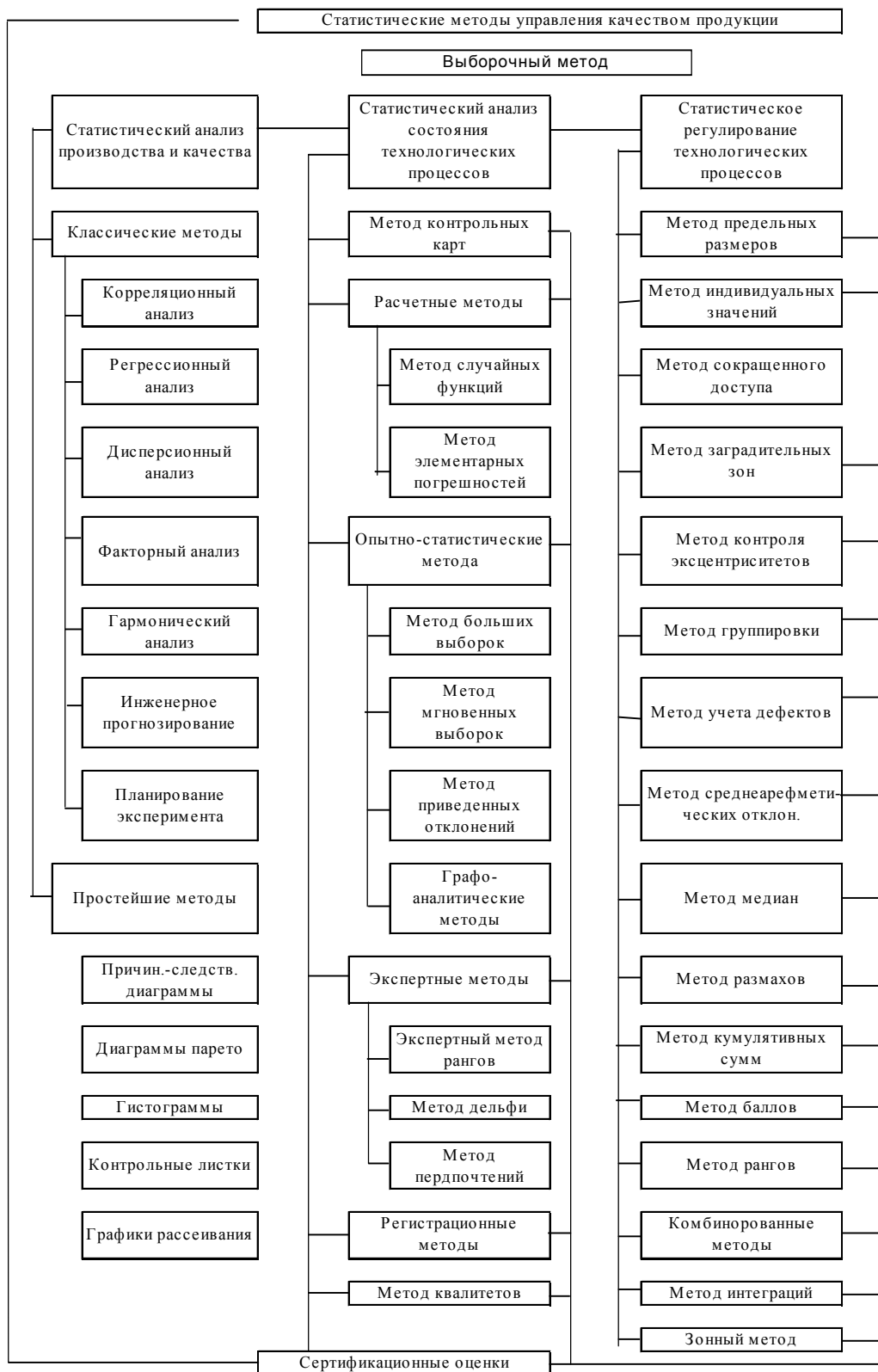


Рисунок 3.2 – Методы управления качеством продукции

2 Показатели качества

Каждая продукция характеризуется своей номенклатурой показателей качества.

Показатель качества продукции - количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления.

Показатели качества применительно к технике могут быть разделены на три группы, включающие следующие показатели (рисунок 3.3):

- *назначения* - характеризуют свойства объектов, определяющих основные функции, для выполнения которых он предназначен;
- *надежности* - количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта;
- *технологичности* - характеризуют приспособленность конструкции к ее изготовлению и эксплуатации;
- *транспортабельности* - характеризуют приспособленность объекта к транспортированию, не сопровождающему его использование по прямому назначению;
- *стандартизации и унификации* - характеризуют оснащенность объекта стандартными, унифицированными и оригинальными частями, а также уровень унификации с другими изделиями;

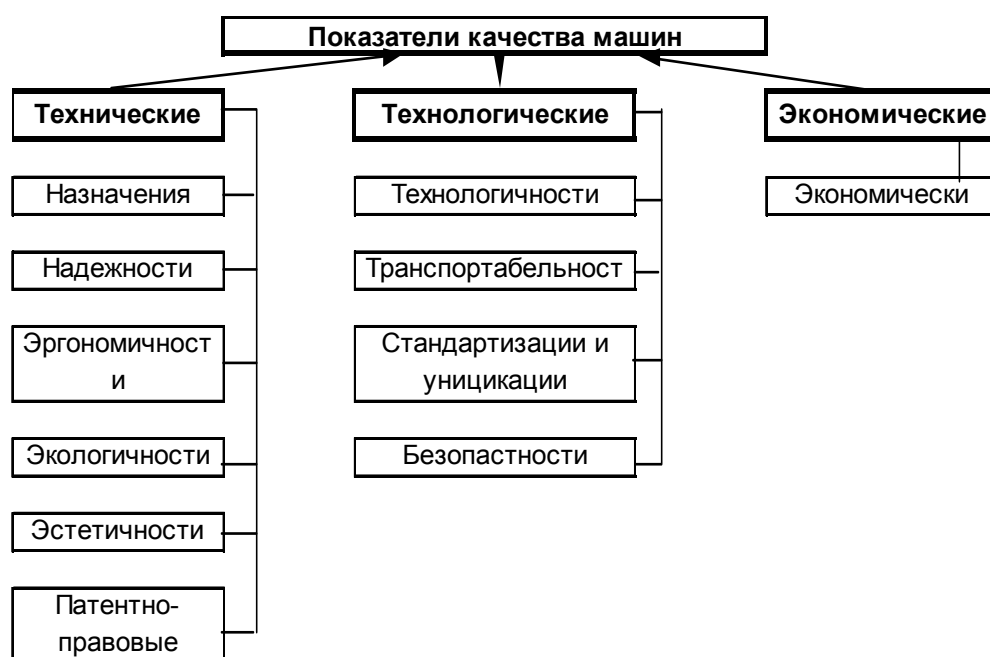


Рисунок 3.3 - Классификация показателей качества машин

- *безопасности* - характеризуют особенности объекта, обуславливающие безопасность обслуживающего персонала при его эксплуатации;
- *эргономичности* - характеризуют не отдельный объект, а систему человек - машина с точки зрения удобства и комфорта эксплуатации конкретного изделия.

- *экологичности* - характеризуют еще более сложную систему человек - машина - среда с точки зрения уровня вредных воздействий на природу в процессе эксплуатации машин;

- *эстетичности* - характеризуют рациональность формы, целостность композиции и совершенство производственного использования изделия

- *патентно-правовые* - характеризуют степень обновления технических решений, использованных в конкретном объекте, их патентную защиту, а также возможность беспрепятственной реализации за рубежом.

3 Оценка уровня качества продукции

По ГОСТ 15467-79 уровень качества продукции это относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей.

Уровень качества отремонтированных изделий оценивают по рассматриваемым выше показателям их качества.

Различают методы оценки качества продукции: дифференциальный, комплексный, смешанный и статистический.

Дифференциальный метод основывается на использовании единичных показателей качества продукции. Качество отремонтированных изделий определяется по значению относительного показателя

$$y = \frac{K_i}{K_{i\delta}},$$

где K_i - значение показателя качества испытуемого изделия ($i = 1, 2, \dots, n$ - число показателей для оценки качества изделия);

$K_{i\delta}$ - значение показателя качества базового изделия.

Комплексный метод основан на использовании комплексных показателей качества продукции. Комплексный показатель характеризует совместно несколько простых свойств или одно сложное свойство продукции, состоящее из нескольких простых. Примером такого показателя отремонтированных машин служит коэффициент готовности K_T , определяемый по формуле:

$$K_T = T / (T + T_e),$$

где T - наработка изделия на отказ (показатель безотказности);

T_e - среднее время восстановления (показатель ремонтпригодности);

$$T = T_o + T_y,$$

где T_o и T_y - среднее время соответственно на отыскание и на устранение отказа.

Другим примером комплексного показателя качества продукции служит показатель K_o , вычисляемый методом среднего взвешенного, в частности, по формуле:

$$K_o = \sum_{i=1}^n K_i \times a_i,$$

где K_i - показатель i -го свойства оцениваемой продукции;

a_i - коэффициент весомости показателя K_i .

Показатель K_o представляет собой условную величину, выражаемую в условных единицах исчисления, например в баллах.

Смешанный метод основан на применении единичных и комплексных показателей качества отремонтированных изделий, когда число единичных показателей достаточно велико и по ним трудно получить обобщающие выводы, а также когда комплексный показатель в комплексном методе не учитывает всей совокупности свойств отремонтированных изделий.

При оценке уровня качества по факторам, характеризующим ремонт, учитывают качество технологической документации, технологического оборудования, оснастки, средств измерений, испытательного оборудования и труда лиц, ремонтирующих изделие.

Статистический метод - метод, при котором значения показателей качества продукции определяют с использованием правил математической статистики.

4 Качество технического обслуживания и ремонта техники

Система технического обслуживания и ремонта техники, согласно ГОСТ 18322-78, - совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему.

Техническое обслуживание - комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании.

Ремонт - комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделий и восстановлению ресурсов изделий или их составных частей.

Проведение работ по оценке качества отремонтированных изделий (ГОСТ 20831-75) осуществляют на этапах освоения ремонтного производства, серийного и массового ремонтного производства.

Оценку качества отремонтированных изделий проводят с целью:

- проверки соответствия изделий заданному уровню качества;
- определения стабильности качества отремонтированных изделий;
- проверки эффективности изменений, внесенных в конструкцию изделия или технологию его ремонта;
- определения уровня качества отремонтированных изделий и отнесения отремонтированных изделий к одной из групп качества.

Оценка качества отремонтированных изделий может производиться:

- по показателям качества отремонтированных изделий;
- по факторам, характеризующим ремонт и определяющим качество отремонтированных изделий;

- по показателям дефектности отремонтированных изделий. Определение показателей качества производится:

- при текущей оценке - по результатам приемо-сдаточных испытаний;
- при периодической оценке - по результатам периодических испытаний;
- при типовой оценке - по результатам типовых испытаний;
- при аттестационной оценке - по результатам аттестационных испытаний или по результатам анализа имеющейся информации.

Разработка программ и методик испытаний проводится в соответствии с требованиями ГОСТ 2.106-68, выбор средств испытаний – в соответствии с ГОСТ 14.307-73.

При оценке факторов, определяющих качество ремонта, учитываются показатели, характеризующие качество:

- технологической документации;
- технологического оборудования и оснастки, в том числе испытательного оборудования и средств измерения;
- труда лиц, ремонтирующих изделие.

Показатели качества отремонтированных изделий классифицируют (ГОСТ 21623-76) на показатели оценки приспособленности объекта к техническому обслуживанию, к текущему ремонту, к капитальному ремонту и объединенные показатели для оценки ремонтпригодности объекта, показатели технологичности объекта при техническом обслуживании и ремонте.

К основным показателям технологичности и ремонтпригодности, согласно ГОСТ 20334-81, относят:

- периодичность технического обслуживания – $L_{ТО}$, тыс. км;
- разовую оперативную трудоемкость ежедневного технического обслуживания – S_{EO} , чел.-ч;
- удельную оперативную трудоемкость технического обслуживания – $S_{ТО}$, чел.-ч/тыс. км;
- удельную оперативную трудоемкость текущего ремонта – $S_{ТР}$, чел.-ч/тыс. км.

Общими требованиями по обеспечению показателей технологичности и ремонтпригодности являются (ГОСТ 21624-81):

- увеличение периодичности ТО изделия;
- повышение безотказности работы изделий и его составных частей;
- обеспечение доступности к составным частям изделия, требующим ТО и ТР;
- обеспечение легкосъемности составных частей изделия;
- стандартизация и унификация составных частей изделия и эксплуатационных материалов;
- сокращение количества объектов изделия, требующих регулярного ТО;
- сокращение номенклатуры и типоразмеров крепежных деталей;
- совершенствование антикоррозийной защиты изделия, его составных частей и крепежных деталей;

- обеспечение доступа к составным частям, требующим проведения антикоррозийной защиты в эксплуатации;
- обеспечение контролепригодности при использовании по назначению, при техническом обслуживании и текущем ремонте;
- обеспечение приспособленности изделия к выполнению моечных, крепежных, регулировочных, смазочных, контрольно-диагностических и ремонтных работ;
- обеспечение приспособленности к выполнению доводочно-регулирующих и контрольно-измерительных работ;
- обеспечение возможности применения оригинальных конструктивных решений и новых материалов;
- обеспечение полной геометрической и функциональной взаимозаменяемости однотипных составных частей при техническом обслуживании и ремонте;
- снижение численности обслуживающего персонала и потребности в специалистах с высоким уровнем квалификации за счет уменьшения и упрощения демонтажно-монтажных, регулировочных и других работ.

4 РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Критерии предельного состояния.
2. Показатели работоспособности технических систем.
3. Комплексные показатели надежности.

1 Критерии предельного состояния

Надежность как отдельное требование при проектировании и производстве машин и как дисциплина сформировалась сравнительно недавно, хотя изучение последствий отказов той или иной системы началось вместе с зарождением промышленности. Понятие “надежность” вначале не использовалось, однако всех интересовала способность, например, паровых котлов выдерживать длительные рейсы. Поэтому так велика роль обеспечения надежности на всех стадиях конструирования, изготовления и эксплуатации.

В соответствии с ГОСТ 27.002-89 надежность это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

В эксплуатации машина может находиться в различных состояниях.

В исправном состоянии объект соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической и (или) конструкторской документацией.

При неисправном состоянии объект не соответствует хотя бы одному из требований, установленных нормативно-технической и (или) конструкторской документацией.

Событие, заключающееся в нарушении исправного состояния, называется *повреждением*.

Работоспособное состояние означает, что значения всех параметров объекта, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности, называется *отказом*.

При неработоспособном состоянии значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не отвечает требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

При возникновении отказа работоспособность объекта может восстанавливаться или не восстанавливаться в зависимости от возникшей ситуации, поэтому в анализе надежности различают *восстанавливаемые и невосстанавливаемые объекты*.

Задачами поддержания и восстановления работоспособного состояния машин занимается система технического обслуживания и ремонта.

Время эксплуатации объектов определяется наступлением предельного состояния, при котором дальнейшее применение изделия по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его работоспособного или исправного состояния невозможно или нецелесообразно.

Изделие в предельном состоянии нельзя применять по назначению. Оно должно быть приведено в исправное или работоспособное состояние, т.е. отремонтировано.

Изделия, для которых проведение ремонтов предусмотрено нормативно-технической или конструкторской документацией, называются ремонтируемыми, в противном случае – неремонтируемыми.

Предельное состояние неремонтируемых изделий в одних случаях может совпасть с неработоспособным состоянием, в других оно определяется опасностью его использования или экономической целесообразностью.

Для ремонтируемых изделий предельное состояние является причиной временного прекращения применения изделия по назначению в случае проведения капитального ремонта или окончательного прекращения использования изделия – списания.

Имеются три общих критерия, определяющих достижение машинами предельного состояния, – технический, технологический и экономический.

Технический критерий подразумевает либо неработоспособное состояние машины, либо такие значения параметров, при которых возникает опасность для жизни или здоровья людей; технологический критерий – невозможность выполнять работу с заданным качеством; экономический критерий – экономическую нецелесообразность использования машины.

Стандартом установлены единые технические критерии предельного состояния машин, которыми должны руководствоваться все организации, занимающиеся эксплуатацией, ремонтом и надежностью машин. Например, состояние трактора считается предельным, если установлена необходимость проведения капитального ремонта двигателя или одного из агрегатов трансмиссии (коробки передач или одного из ведущих мостов) и одной или более составных частей: рамы, кабины в сборе, рулевого механизма или гидросистемы.

Критерии предельного состояния отдельных деталей машин приводятся в нормативно-технической документации на капитальный ремонт машин соответствующих марок.

2 Показатели надежности технических систем

Надежность характеризуется *безотказностью, долговечностью, ремонтопригодностью и сохраняемостью* (ГОСТ 27.002-89).

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или наработки.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции во время, после хранения и (или) транспортирования.

Различают показатели надежности: единичный, комплексный, расчетный, экспериментальный, эксплуатационный, экстраполированный.

Показатели надежности определяются на основе параметров, характеризующих работу объектов во времени.

Рассматривая работу машин или их элементов с позиций надежности, можно выделить следующие параметры:

- средняя наработка на отказ – t_o ;
- число отказов за определенную наработку – m ;
- наработка до предельного состояния – R ;
- наработка до списания – t_{cn} ;
- время восстановления работоспособности после отказа – $T_{в}$.

Показателями безотказности являются: вероятность безотказной работы, гамма-процентная наработка до отказа, средняя наработка на отказ, интенсивность отказов, параметр потока отказов, усредненный параметр потока отказов.

Понятие *параметр потока отказов* выводится из общей схемы отказов машины в эксплуатации; при этом фиксируются только моменты их возникновения, время же восстановления работоспособности не учитывается. Моменты отказов формируют их поток. В качестве характеристики потока отказов используется ведущая функция потока $\omega(t)$ – математическое ожидание (среднее значение) числа отказов за определенную наработку.

Число отказов за любой интервал наработки от t до $t + \Delta t$ определяется по формуле:

$$m(t; t + \Delta t) = m(t + \Delta t) - m(t)$$

Отношение числа отказов за интервал Δt к его величине, при стремлении Δt к нулю, дает параметр потока отказов:

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left[\frac{m_{cp}(t + \Delta t) - m_{cp}(t)}{\Delta t} \right]$$

Параметр потока отказов – отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки.

Нарботка до отказа – наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

За один и тот же период наработки среднее значение параметра потока отказов и наработки до отказа связаны соотношением

Важным показателем является вероятность безотказной работы. Статистически она определяется отношением числа объектов, безотказно проработавших до какой-либо наработки, к общему количеству объектов:

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

где N_o – число объектов, находящихся в испытании;

$n(t)$ – число отказавших объектов.

Вероятность безотказной работы представляет собой безусловную вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не наступает.

Используется и обратная функция – вероятность отказа:

$$Q(t) = 1 - P(t),$$

$$Q(t) = 1 - \frac{N_o - n(t)}{N_o},$$

где $n(t)$ – число отказавших машин за время t .

Графики функций вероятности безотказной работы и вероятности отказа приведены на рисунке 4.6.

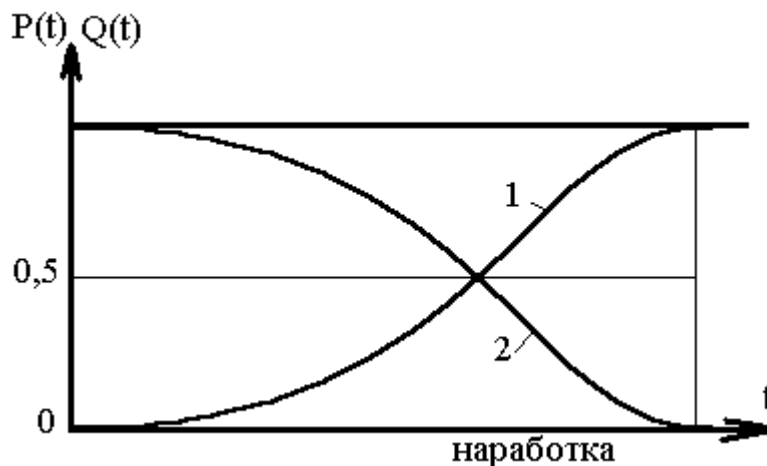


Рисунок 4.1 - Графики функций вероятности безотказной работы (1) и вероятности отказа (2)

Показатели долговечности: гамма-процентный ресурс, средний ресурс, гамма-процентный срок службы, средний срок службы.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Назначенный ресурс – суммарная наработка объекта, по достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния. Это ресурс чаще всего назначают из соображения безопасности или экономичности, например, для авиационных двигателей с целью обеспечения безопасности полётов.

Средний ресурс (срок службы) до ремонта $T_{др}$ – средний ресурс (срок службы) от начала эксплуатации объекта до его первого ремонта.

Средний ресурс (срок службы) между ремонтами $T_{мр}$ – средний ресурс (срок службы) между сменными ремонтами объекта.

Средний ресурс (срок службы) до списания $T_{сн}$ – средний ресурс (срок службы) объекта от начала эксплуатации до его списания, обусловленного предельным состоянием.

Гамма-процентный ресурс – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах:

$$p(t_i) = \frac{i}{100}$$

Для сельскохозяйственной техники принята регламентированная вероятность $\gamma = 80 \%$; соответствующий этому значению ресурс называется 80-процентным.. Например: 80 %-й ресурс двигателей тракторов составляет 6...8 тыс. м.ч., трансмиссии 6...8 тыс. м.ч., агрегатов и приборов электрооборудования – 8 тыс. м.- ч.

Средний ресурс – это математическое ожидание ресурса:

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

где N – число работоспособных объектов $t = 0$.

t_i – наработка до первого отказа каждого из испытываемых объектов.

Гамма-процентный срок службы – календарная продолжительность эксплуатации, в течении которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ процентов.

Показатели ремонтпригодности: вероятность восстановления, гамма-процентное время восстановления, средняя трудоемкость восстановления.

Вероятность восстановления – это вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданного значения $P(v)$.

Среднее время восстановления – это математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа:

$$T_v = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^N t_{d_i},$$

где t_{d_i} - время отыскания и устранения i - ого объекта,

m – число отказов.

Наиболее общими характеристиками ремонтпригодности, описывающими приспособленность к проведению ремонтов и технического обслуживания, являются средние удельные затраты времени и денежных средств на проведение технического обслуживания и ремонта, которые могут подсчитываться как отдельно по техническому обслуживанию и ремонту, так и по обоим видам работ вместе.

Однако часто при конструировании машины не закладываются возможности её ремонта и технического обслуживания с минимальными затратами материальных ресурсов и времени.

Вероятность восстановления в заданное время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины отказа и устранения последствий отказа не превысит заданного.

Показатели ремонтпригодности отражают затраты времени, труда и средств на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт.

Показателями затрат времени являются:

оперативное время – затраты времени исполнителями на выполнение операций обслуживания и ремонта, определяемые конструкцией и техническим состоянием объекта;

вспомогательное время – часть оперативного, затрачиваемого исполнителем на подготовку объекта к техническому обслуживанию (ремонту) и восстановление исходного положения частей объекта после окончания технического обслуживания (ремонта);

основное время – часть оперативного времени, затрачиваемая исполнителем на выполнение операций технического обслуживания (ремонта) без учета вспомогательного времени.

Показателем затрат труда является оперативная трудоемкость – трудовые затраты на выполнение всех операций технического обслуживания (ремонт) объекта, определяемые его конструкцией и техническим состоянием. В оперативной трудоемкости выделяют основную и вспомогательную трудоемкость.

Показателем затрат средств является оперативная стоимость – стоимость выполнения всех операций одного технического обслуживания или (ремонта) объекта, определяемая его конструкцией и техническим состоянием.

Показателями сохраняемости являются средний и гамма-процентный срок сохраняемости.

Средний срок сохраняемости:

$$T_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \tau_i$$

где τ_i - срок сохраняемости i - ого объекта.

Гамма – процентный срок сохраняемости – это срок сохраняемости, достигший объектом с заданной вероятностью γ в процентах.

Гамма – процентный срок сохраняемости – это срок сохраняемости, достигнутый объектом с заданной вероятностью γ в процентах.

Средний срок сохраняемости – это математическое ожидание срока сохраняемости:

$$T_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_i,$$

где τ_i - срок сохраняемости i - ого объекта.

Наиболее общим показателем, который характеризует сохраняемость, может быть *показатель суммарных потерь при хранении*, куда включаются как собственно потери от хранения, выражающиеся в уменьшении годности машины, так и затраты средств на её хранение.

3 Комплексные показатели надежности

Комплексные показатели надежности включают коэффициенты готовности, оперативной готовности, технического использования, сохранения эффективности.

Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ – вероятность того, что объект, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособным в произвольный момент времени и начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Коэффициент оперативной готовности определяется по формуле:

$$K_{ог} = K_{б} \times P(t_p)$$

Коэффициент оперативной готовности может характеризовать надёжность техники для определённых видов работ.

Средняя суммарная трудоёмкость технического обслуживания (ремонта) – математическое ожидание суммарных трудозатрат на проведение технического обслуживания (ремонта) за определённый период эксплуатации.

Средняя суммарная стоимость технического обслуживания (ремонта) – математическое ожидание суммарных затрат на проведение технического обслуживания (ремонта) объекта за определённый период эксплуатации.

Показатели эксплуатационной технологичности:

- показатели ремонтной технологичности;
- показатели, характеризующие общее техническое совершенство конструкции.

Из комплексных показателей надежности в сельском хозяйстве наиболее часто используются коэффициенты готовности и технического использования.

Коэффициент готовности K_2 - это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме

планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

$$K_z = \frac{T}{T + T_g},$$

где T – наработка на отказ;

T_g – среднее время восстановления.

Коэффициент технического использования $K_{т.и.}$ – отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период:

$$K_{т.и.} = \frac{T_{II}}{T_{II} + T_g + T_n},$$

где T_{II} – время, когда объект находился в исправном состоянии;

T_n – время на профилактику (ТО).

Все показатели надежности взаимосвязаны и в значительной степени определяют показатели использования и затраты на выполнение работ.

В качестве оценочных показателей надежности отремонтированных машин приняты:

- назначение (мощность, удельный расход топлива, удельный угар масла);
- эргономичность (усилие при управлении, параметры среды на рабочем месте);
- эстетичность (товарный вид после ремонта);
- экономичность (себестоимость ремонта).

Взаимосвязь между показателями надежности и ее ценой следующая:

$$Z_{уд} = \frac{Z + C}{T_{сл}},$$

где Z – затраты на ТО и ремонт, руб.;

C – цена (стоимость машины), руб.;

$T_{сл}$ – наработка изделия за нормативный срок службы.

Рост ресурса машин ведет к уменьшению числа капитальных ремонтов и снижению затрат на них. С повышением безотказности машин уменьшается число отказов и снижаются затраты на устранение их последствий, увеличивается сменная наработка. Обеспечение требуемой вероятности безотказной работы позволяет выполнять сельскохозяйственные операции в оптимальные сроки.

Улучшение ремонтпригодности техники снижает затраты труда, времени и средств на плановое техническое обслуживание, устранение последствий отказов и ремонты.

Повышение показателей сохраняемости машин позволяет снизить эксплуатационные затраты.

5 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

1. Определения показателей работоспособности.
2. Формулы сложения и умножения вероятностей.
3. Распределение случайной величины.
4. Характеристики (параметры) распределения случайной величины.

1 Определения показателей работоспособности

Испытание (опыт) – это практическое создание некоторых условий, правил, влияющих на некоторое физическое явление. Испытание сопровождается регистрацией результатов.

Событие – это явление, происходящее в результате выполнения определенного комплекса условий, т.е. в результате испытания (опыта). Оно является качественным результатом испытания.

Достоверным называется такое событие, которое неизбежно произойдет при данном комплексе действующих условий.

Невозможным называется событие, которое при тех же условиях заведомо произойти не может.

Случайным называют событие, которое при рассматриваемом сочетании условий может произойти, а может и не произойти.

Все явления в технике с точки зрения количественной характеристики их проявления разделяют на единичные и массовые.

Единичными называют явления, которые возникают однократно и при многократном воспроизведении того же испытания (опыта) практически не повторяются.

Массовыми называются явления, повторяющиеся при многократном воспроизведении испытаний (опытов).

Несовместимыми называются два события, если при проведении испытания появление одного из них исключает возможность появления другого.

Случайная величина – это такая величина, которая в результате опыта может принимать различные значения в определенных пределах.

Все случайные величины можно разделить на две группы: непрерывные и дискретные.

Непрерывными случайными величинами называются такие, которые в некотором интервале могут принимать любое значение (например время безотказной работы).

Дискретными случайными величинами называются такие, которые могут принимать лишь определенные значения (число отказов, возникающих в

течение какого-либо интервала времени, число неисправных объектов в партии и т.п.). Например, число бракованных деталей в партии изношенных – дискретная случайная величина, а величина износа этих деталей – непрерывная случайная величина.

При испытании N машин и количестве отказов m , относительная частота, или частота отказов, равна:

$$W = \frac{m}{N} \quad \text{или} \quad W = \frac{m}{N} \times 100$$

Частота - это число одинаковых или близких (полученных по наблюдениям) событий или абсолютных значений случайных величин, соединенных в одну группу (интервал) или разряд.

Частость или относительная частота - это частота, выраженная в долях единицы или процентах от общего числа испытаний или объектов изучаемой совокупности. При неограниченном увеличении N статистическое значение W приближается или сходится к некоторому числу P , называемому вероятностью данного события:

$$P = \lim W = \lim \frac{m}{N}, \quad \text{т.е.} \quad P(A) \approx \frac{m}{N},$$

где $P(A)$ – вероятность события A ;

m – число случаев, благоприятствующих наступлению события;

N – число несовместимых, единственно возможных и равновероятных событий.

Вероятность появления события принято обозначать в пределах от нуля до единицы: $0 \leq P(A) \leq 1$. Если $m = N$, то $P(A) = m/N = 1$ и событие достоверно (обязательно произойдет).

Изучение закономерностей появления отказов как случайных событий является центральным вопросом всей проблемы надежности. Случайное событие при воспроизведении опыта протекает всякий раз по-иному. Ввиду этого для количественной оценки случайного события используют вероятность того, что случайная величина окажется в указанном интервале значений.

Практически достоверным называют такое событие, вероятность которого близка к единице.

Практически невозможным называют такое событие, вероятность которого близка к нулю. Случайное событие имеет устойчивую частость при массовых испытаниях, т.е. в каждой серии испытаний частость этого события изменяется незначительно и колеблется вблизи некоторого положительного числа. Это число и принимается за вероятность данного события или случайной величины. Вычисленную этим способом вероятность называют статистической, так как она получена в результате испытаний (опытов).

2 Формулы сложения и умножения вероятностей

Формула сложения вероятностей: если при испытаниях может произойти только одно из рассматриваемых событий - $A_1; A_2; \dots A_n$, а вместе они появиться не могут, то такие события называют несовместимыми. Это сложное событие A называют суммой исходных событий и условно обозначают так:

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n = \sum_{i=1}^n A_i$$

или

$$P(A) = P(A_1 + A_2 + \dots + A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n) = \sum_{i=1}^n P(A_i)$$

В общем случае для полной группы несовместимых событий $A_1, A_2, \dots A_n$ будем иметь

$$P(A_n) = \sum_{i=1}^n P(A_i) = 1$$

На практике чаще всего рассматривают два несовместимых противоположных события: состояние работоспособности и отказ.

Естественно, что они несовместимы, т.е. любой объект в данный момент времени находится или в рабочем, или в нерабочем состоянии.

Эти события образуют полную группу, для которой

$$P + Q = 1,$$

где P – вероятность того, что объект будет работоспособным;

Q – вероятность того, что наступит отказ.

Для двух совместимых событий:

$$P(A_1 + A_2) = P(A_1) + P(A_2) = P(A_1; A_2)$$

Формула умножения вероятностей: если два события A и B независимы, т.е. появление одного из них не изменит вероятность появления другого, то

$$P(A \times B) = P(A) \times P(B)$$

Эта формула выражает теорему умножения вероятностей для независимых событий, утверждающую, что вероятность совместного появления двух независимых событий равна произведению вероятностей этих событий.

Основные характеристики надежности имеют значительный разброс, т.е. они случайные величины, а поэтому при многократном повторении подчиняются определенным статистическим устойчивым законам распределения случайной величины.

3 Распределение случайной величины

Распределение случайной величины - это совокупность значений случайных величин, расположенных в возрастающем порядке с указанием их вероятностей для теоретических распределений или частот для эмпирических распределений.

Дискретные случайные величины X могут принимать только ряд отдельных значений x_1, x_2, \dots, x_n , каждому из которых соответствует некоторое значение вероятности P_1, P_2, \dots, P_n .

Рассматривая появление любого из перечисленных значений случайной величины как событие, заметим, что и события образуют полную группу несовместимых случайных событий, следовательно, сумма вероятностей всех возможных значений случайной величины равна единице:

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = \sum_{i=1}^n P_i = 1$$

Распределение случайной величины может быть представлено в виде таблицы, называемой рядом распределения или графическим многоугольником распределения (таблице 5.1).

Таблица 5.1 – Ряд распределения случайной величины

Значение случайной величины X	x_1	x_2	.....	x_n
Вероятность $P(X = x_i) = P$	P_1	P_2	.....	P_n

Ряд распределения – удобная форма представления закона распределения дискретной случайной величины с конечным числом возможных значений.

Функция распределения случайной величины – наиболее универсальная характеристика как дискретных, так и непрерывных случайных величин.

Функцию распределения можно представить в виде графика (рисунок 5.1), если по оси абсцисс откладывать значение x , а по оси ординат значение $F(x)$.

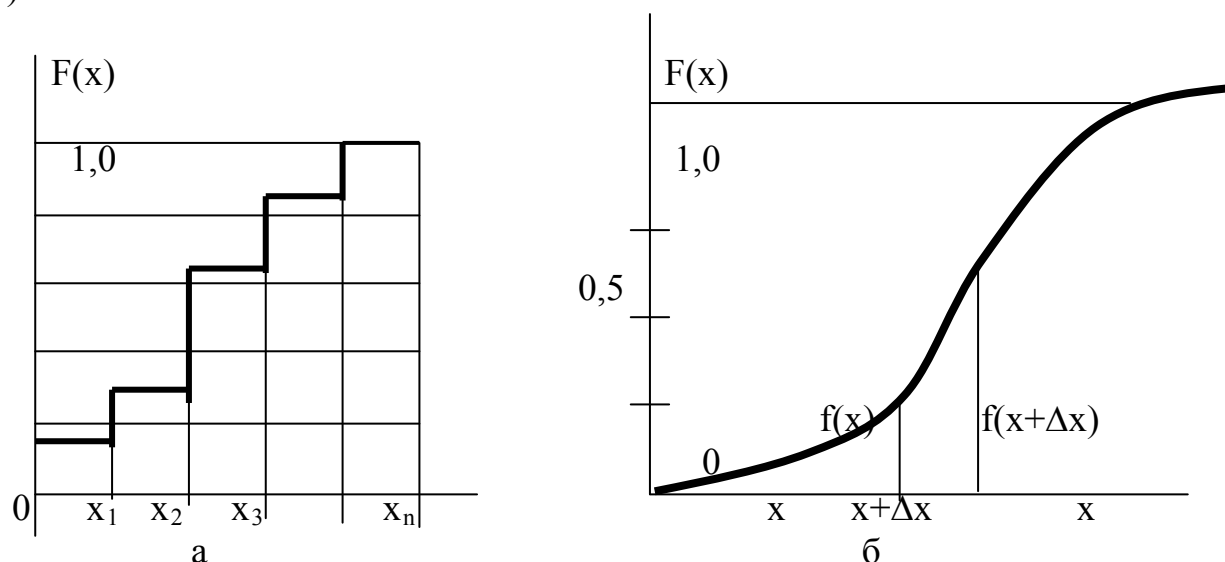


Рисунок 5.1 - Функции распределения: а) функция распределения дискретных (прерывных) случайных величин; б) интегральная функция распределения непрерывных случайных величин.

Плотность распределения непрерывной случайной величины это производная от функции распределения непрерывной случайной величины:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx}$$

Для дискретной величины функции плотности распределения не существует.

Таблица 5.2 – Эмпирический ряд распределения случайной величины

Значение случайной величины X	x_1	x_2	.....	x_n
Частота m_i	m_1	M_2	.....	m_n
Частость, $m_i/N = W_i$	W_1	W_2	.....	W_n

Эмпирическое распределение может быть изображено в виде ступенчатого графика, называемого гистограммой, или в виде ломаной линии (кривой), называемой полигоном распределения (рисунок 5.2). Реже пользуются кривой накопленных частостей или кумулятивной кривой.

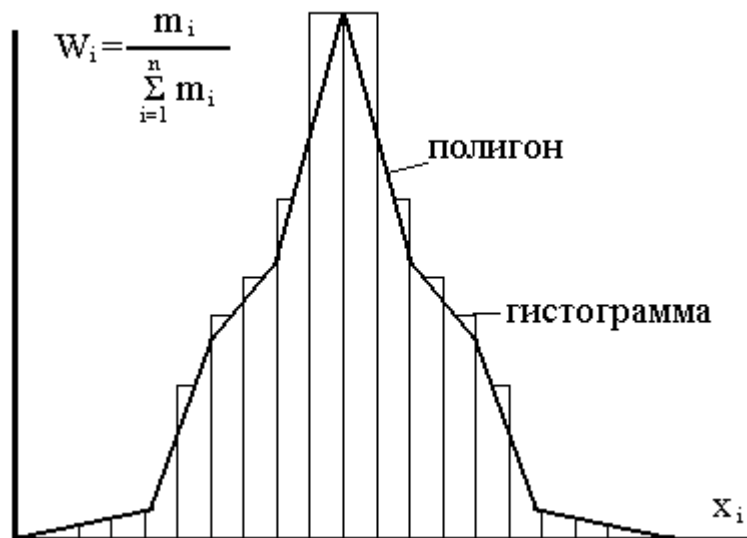


Рисунок 5.2 - Гистограмма и полигон распределения.

На практике имеют дело с ограниченным числом полученных значений случайной величины. Множество случайных событий, объединенных по какому-либо признаку, называется статистической совокупностью.

4 Характеристики (параметры) распределения случайной величины

Среднее арифметическое - это частное от деления суммы измеренных значений на число слагаемых этой суммы, т.е. на число испытаний (опытов):

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N},$$

где \bar{X} – среднее арифметическое

N – число испытаний;

x_1, \dots, x_n – отдельные измерения значений наблюдаемой величины.

Средневзвешенная величина определяется по формуле:

$$\bar{X}_B = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + \dots + m_n \cdot x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

где m_i – частота

В случае если $\sum_{i=1}^n m_i = N$, то

$$\bar{X}_B = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i}{N}$$

Для упрощения среднюю взвешенную часто определяют по формуле

$$\bar{X}_B = A + \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot (x_i - A)}{N},$$

где A – произвольное число, которое подбирают так, чтобы разности $(x_i - A)$ были, возможно, простыми и малыми числами.

Математическое ожидание для дискретной случайной величины:

$$M(X) \approx P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + \dots + P_n \cdot x_n = \sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i,$$

где x_i – значения случайной величины;

P_i – вероятности случайных величин.

При $N \rightarrow \infty$ \bar{X} стремится по значению к математическому ожиданию, т.е. $X = MX$.

Мода M_0 теоретического распределения - это такое значение x_i , которое соответствует максимальному значению плотности распределения $f(x)$ (рисунок 5.3).

Медиана (рисунок 5.4) - это такое значение (x_i) , которое соответствует среднему объекту в ряде значений, упорядоченных по их возрастанию, или квантиль порядка $P = 1/2$.

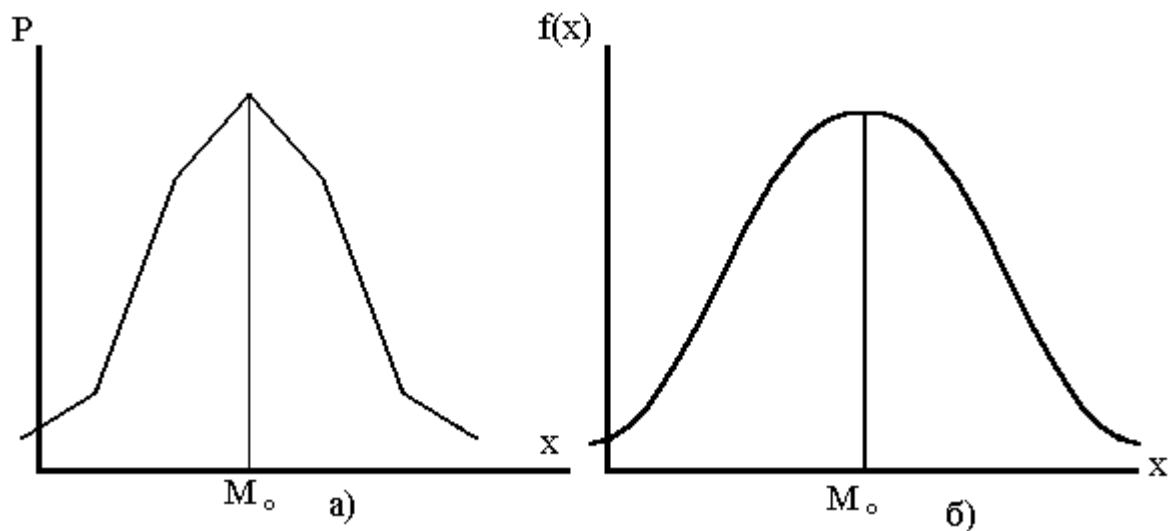


Рисунок 5.3 - Мода дискретной (а) и непрерывной (б) величин

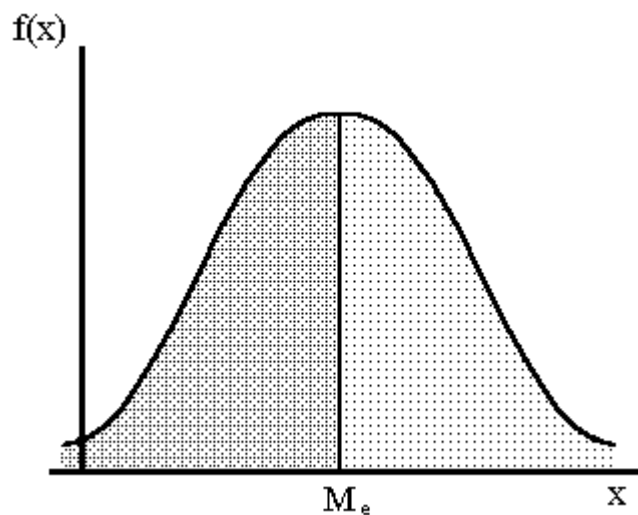


Рисунок 5.4 - Медиана

К мерам рассеивания относятся: размах, дисперсия, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Размах распределения – это разность между наибольшим и наименьшим значениями:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

Дисперсия (рассеивание) теоретического распределения для дискретной, случайной величины

$$DX = \sum_{i=1}^n P(x_i)(x_i - MX)^2$$

Для непрерывной, заданной плотностью вероятности $f(x)$

$$DX = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)(x - MX)^2 dx$$

При $N \rightarrow \infty$ $S^2 = DX$

Эмпирическая дисперсия S^2 – величина рассеивания зафиксированных значений вокруг их среднего значения.

При малом числе наблюдений, т.е. $N < 25$

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n m_i (x_i - \bar{X})^2$$

При $N \geq 25$

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n m_i (x_i - \bar{X})^2 = a^2 - \bar{X}^2$$

где $a^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot m_i}{N}$

Эмпирическое среднее квадратическое отклонение и среднее квадратичное отношение (стандарт) будут соответственно равны корнями квадратичным из дисперсии S^2 и из Dx , взятых с положительным знаком.

Среднее квадратическое отношение (стандарт) при $N < 25$ малом числе наблюдений, т.е.

$$\sigma = \sqrt{Dx}$$
$$S = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n m_i (x_i - \bar{X})^2}$$

Совокупность не содержит грубых погрешностей согласно критерию Райта в том случае, если

$$|x_i| \leq 3\sigma$$

где $|x_i|$ – максимальное по абсолютной величине отклонение, равное $|x_{\max} - \bar{X}|$.

Коэффициент вариации для теоретического распределения представляет собой отношение среднего квадратичного отношения к математическому ожиданию:

$$V_x = \frac{\sigma_x}{MX} \times 100$$

Для эмпирического распределения коэффициент вариации выражается через отношение эмпирического среднего квадратического отношения к среднему арифметическому:

$$V_x = \frac{S}{\bar{X}}$$

Коэффициент вариации может выражаться в процентах:

$$V_x = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

Наибольшее рассеивание имеет ряд, у которого больше коэффициент вариации.

6 СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О РАБОТОСПОСОБНОСТИ

1. Цели системы сбора и обработки информации о работоспособности.
2. Законы распределения случайных величин, характеризующие работоспособность.
3. Критерии согласия и оценка точности.
4. Прогнозирование работоспособности сложных технических систем.
5. Методологические основы предотвращения отказов при эксплуатации технических систем.

1 Цели системы сбора и обработки информации о работоспособности

Оценка надежности проводится на основе сбора, обработки и анализа информации в виде случайных событий.

Требования к информации следующие: полнота, достоверность, однородность, дискретность (данные по отдельным признакам), своевременность и др.

Система сбора и обработки информации о надежности это совокупность организационно-технических мероприятий по получению необходимых и достоверных сведений о надежности.

Цели системы сбора и обработки информации о надежности:

- конструктивное усовершенствование;
- совершенствование технологии изготовления, сборки и т.д.;
- разработка мероприятий, направленных на соблюдение правил эксплуатации и ТОР;
- снижение затрат на ТОР.

Задачи системы сбора и обработки информации:

- определение и оценка показателей надежности изделий;
- обнаружение конструкторских и технологических недостатков изделий, снижающих надежность;
- выявление износов деталей и сборочных единиц;
- определение закономерностей возникновения отказов;
- установление влияния условий и режимов эксплуатации на надежность изделий;
- корректировка нормируемых показателей надежности;
- оптимизация норм расхода запасных частей и совершенствование системы ТОР;
- определение эффективности мероприятий, направленных на повышение надежности.

Статистическая оценка основных характеристик надежности дается совокупностью предметов или явлений, объединенных единым признаком или свойством.

Статистическая совокупность это такая совокупность, которая состоит из однородных объектов, обладающих качественной общностью.

В результате наблюдения определяют соответствующие значения случайной величины.

Генеральная или общая совокупность это совокупность объектов, содержащая все исследуемые объекты, из которых делается выборка, т.е. над которой ведется наблюдение.

Выборка или выборочная совокупность это определенное число объектов, отобранных из исследуемой совокупности.

Требования к выборке:

- выборка должна быть представительной;
- все объекты должны иметь одинаковую вероятность попадания в выборку.

Объем совокупности – число объектов этой совокупности.

Последовательность обработки результатов экспериментальных наблюдений:

- построение по опытным данным эмпирической кривой;
- вычисление характеристик эмпирического распределения;
- выдвижение гипотезы о функции случайной величины;
- выравнивание эмпирической кривой по принятым теоретическим законам;
- сравнение эмпирической и теоретической кривых по одному из критериев согласия;
- выбор функции (закона) для данного распределения с учетом наилучшего согласования эмпирической и теоретической кривых.

2. Законы распределения случайных величин, характеризующие работоспособность

Чаще всего распределения случайных величин подчиняются следующим теоретическим законам.

Закон нормального распределения (нормальный закон Гаусса). Этому закону подчиняются многие случайные величины массовых явлений, на которые оказывает влияние большое число факторов, равнозначных по своим значениям (например износ большого числа деталей одного наименования).

Дифференциальная кривая, соответствующая нормальному закону, симметрична относительно ординаты, проведенной в точке $x = \bar{X}$, называемой центром распределения, и имеет колоколообразный вид (рисунок 7.1); уравнение кривой:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}},$$

где e – основание натурального логарифма, равное 2,7183;

x – случайная величина ($-\infty < x < +\infty$);

\bar{X} – среднее арифметическое значение (математическое ожидание) случайной величины x .

При $x = \bar{X}$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$$

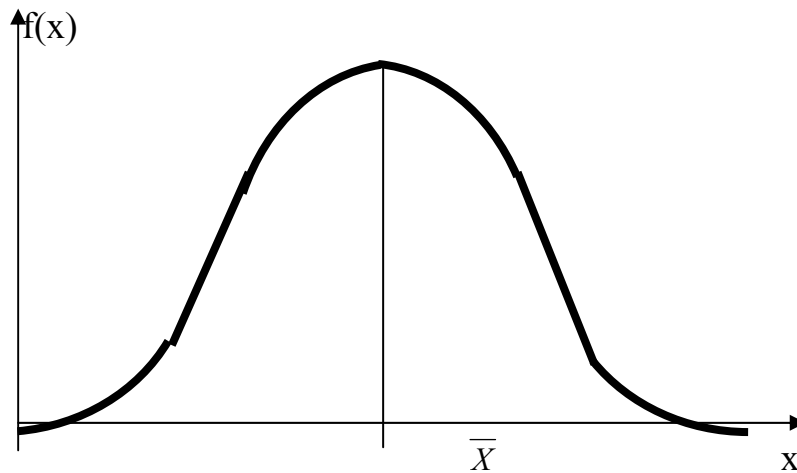


Рисунок 6.1 - Дифференциальная кривая для нормального распределения.

Характерная особенность нормального распределения: вероятность, или частота, значений x , заключенных в пределах от $\bar{X} - 3\sigma$ до $\bar{X} + 3\sigma$ составляет 0,9973, т.е. близка к единице.

Интегральная функция нормального распределения в общем виде:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx$$

Кривые распределения, подчиняющиеся закону нормального распределения, могут характеризоваться также асимметрией A (рисунок 6.2) и эксцессом E (рисунок 6.3).

Если: $A = 0$ – кривая симметрична;

$A > 0$ – кривая имеет положительную асимметрию;

$A < 0$ – отрицательную;

$E < 0$ – наблюдается отрицательный эксцесс;

$E > 0$ – положительный;

$E = 0$ – эксцесс отсутствует (нормальная кривая).

Усеченным нормальным распределением называют распределение, у которого случайная величина x с двух сторон ограничена определенными значениями.

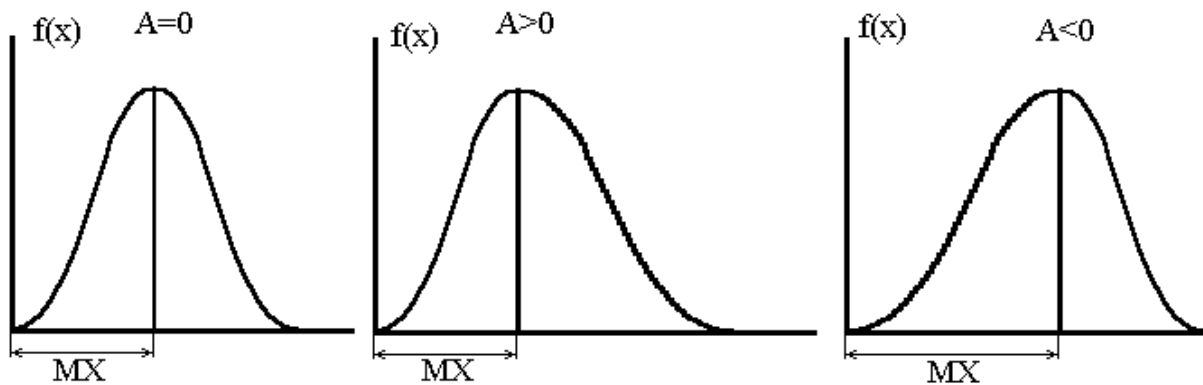


Рисунок 6.2 - Асимметрия

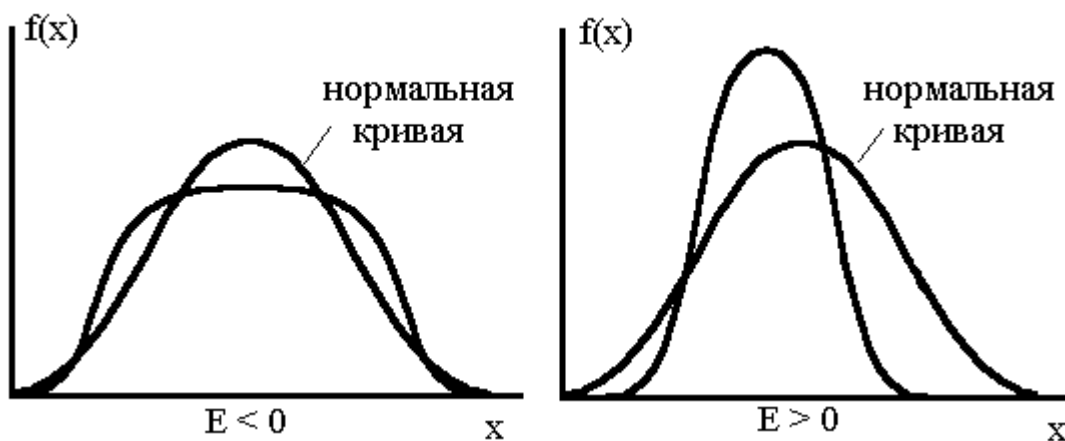


Рисунок 6.3 - Эксцесс

Экспоненциальное (показательное) распределение (рисунок 6.4).

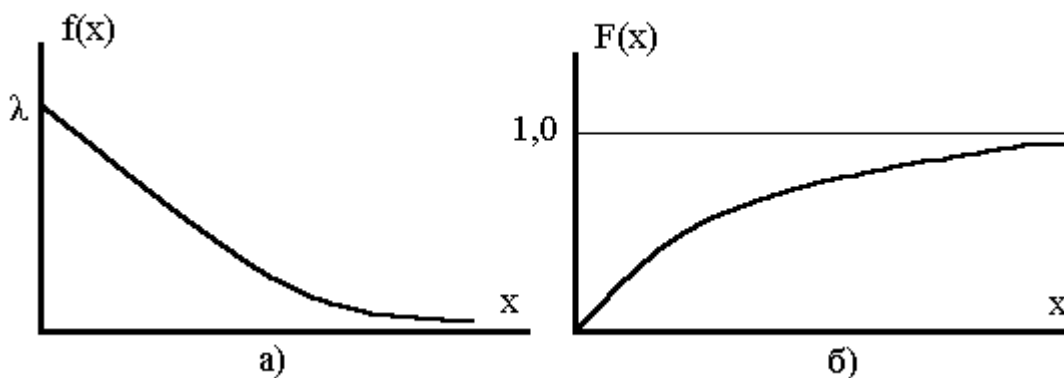


Рисунок 6.4 - Экспоненциальное распределение: а) плотность распределения; б) интегральная функция распределения

Непрерывная случайная величина распределена по экспоненциальному закону, если ее плотность распределения вероятности существует при $x \geq 0$ и имеет вид:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} = \lambda \exp(-\lambda x),$$

где λ – постоянная величина (коэффициент).

Интегральную функцию экспоненциального распределения находят по формуле

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x} = 1 - \exp(-\lambda x)$$

Математическое ожидание случайной величины x , имеющей показательное распределение, это величина, обратная коэффициенту λ . У показательного распределения математическое ожидание и квадратическое отклонение одинаковы, т.е.

$$MX = \sigma = \frac{1}{\lambda}$$

Распределение Вейбулла-Гнеденко (рисунок 6.5) имеет следующую плотность распределения:

$$f(x) = \frac{v}{a} \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^{v-1} \cdot e^{-(t/a)^v},$$

где v, a - параметры распределения.

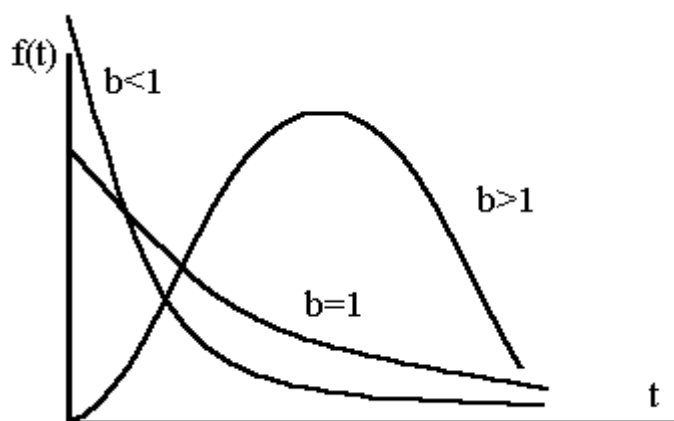


Рисунок 6.5 - Распределение Вейбулла-Гнеденко

При $v = 1$ распределение Вейбулла-Гнеденко совпадает с экспоненциальным распределением, а при $v = 2$ – с распределением Релея.

Функцию распределения Вейбулла – Гнеденко можно записать в следующем виде:

$$F(t) = \int_0^x f(x)dx = 1 - e^{-(t/a)^a} = 1 - \exp\left[-(t/a)^a\right]$$

Распределение Пуассона имеет место при распределении случайных величин. Например, если в начальный период эксплуатации изделия (период приработки) поток отказов нестационарный, то после окончания периода приработки поток отказов становится стационарным и, следовательно, простейшим (пуассоновским).

Вероятности частот событий, редко встречающихся при некотором числе испытаний, для распределения Пуассона находят по формуле:

$$P_m = \frac{(nP)^m e^{-nP}}{m!} = \frac{a^m}{m!} e^{-a},$$

где m – частота данного события

n – число испытаний (наблюдений);

P – вероятность событий при одном испытании;

$a = nP$ – математическое ожидание случайной величины.

3 Критерии согласия и оценка точности

Для сравнения расхождений между эмпирическим законом распределения и предполагаемым, т.е. теоретическим, используют критерии согласия.

Критерием согласия называется критерий проверки гипотезы о предполагаемом законе неизвестного распределения.

Наиболее простым критерием проверки гипотезы о виде закона распределения служит *критерий λ* , предложенный академиком А.Н. Колмогоровым. При использовании этого критерия делают предположение, что распределение статистических данных имеет, например, характер нормального распределения. В качестве параметров распределения принимают соответствующие характеристики выборки.

Приняв параметры теоретического распределения равными параметрам эмпирического распределения, определяют теоретические частоты m_i любого значения x в эмпирическом распределении по формуле:

$$m_{i, \text{теор}} = \frac{\Delta x \times N}{\sigma} \times f(x) \text{ или } m_{i, \text{теор}} = \frac{h \times N}{S} \times \varphi(t),$$

где Δx или h – ширина (цена) интервала или предельная разность размеров внутри интервала.

Значения $f(x)$, вычисленные для различных величин, берут из справочных таблиц. Затем строят теоретические кривые в следующем порядке:

- из середины интервалов, отложенных по оси абсцисс, проводят ординаты, соответствующие теоретическим частотам;

- концы ординат плавно соединяют линией.

Близость теоретических частот к эмпирическим позволяет ориентировочно утверждать, что эмпирическая кривая распределения подчиняется закону нормального распределения.

По эмпирическим и возможным теоретическим частотам распределения определяют значения критерия согласия λ по формуле:

$$\lambda = \frac{\left| \sum_1^i m_i - \sum_1^i m_{i, \text{теор.}} \right| \cdot \max}{N} \cdot \sqrt{N} = D_{\max} \cdot \sqrt{N},$$

где $\sum_1^i m_i$ – накопленная эмпирическая частота;

$\sum_1^i m_{i, \text{теор.}}$ – накопленная теоретическая частота;

D_{\max} – наибольшая абсолютная разница между накопленными эмпирическими и теоретическими частотами;

N – общее число всех значений наблюдений (объем выборки).

Величины $\frac{\sum_1^i m_i}{N}$ и $\frac{\sum_1^i m_{i, \text{теор.}}}{N}$ представляют собой интегральные функции эмпирического $F_n(x)$ и теоретического $F(x)$ распределений, поэтому λ можно представить так:

$$\lambda = [F_n(x) - F(x)] \times \sqrt{N}$$

В справочной литературе имеются таблицы значений вероятностей $P(\lambda)$ для различных значений λ .

Если окажется, что вероятность $P(\lambda)$ очень мала (менее 0,05), то по принципу практической невозможности маловероятных событий можно заключить, что эмпирическое распределение не соответствует предполагаемому теоретическому распределению. В случае $P(\lambda) > 0,05$ теоретическое распределение может быть принято.

Критерий согласия Пирсона, так называемый χ^2 , применяют при большом числе наблюдений.

Критерий Пирсона следует применять в тех случаях, когда теоретические значения параметров функции распределения неизвестны:

$$\chi_{\text{набл.}}^2 = \sum \frac{|m_i - m_{i, \text{теор.}}|^2}{m_{i, \text{теор.}}}$$

Найдя χ^2 , следует определить число степеней свободы k :

$$k = n - r - 1,$$

где n – число сравниваемых частот;

r – число параметров предполагаемого распределения, которые оценены по данным выборки.

Если $\chi_{\text{набл.}}^2 < \chi_{\text{кр.табл.}}^2$, то расхождения незначительны.

Оценка точности. Основные параметры теоретических распределений: математическое ожидание MX и дисперсия DX .

Ранее был рассмотрен порядок вычисления по эмпирическому распределению значения \bar{X} и дисперсии σ^2 . Эти величины – точечные оценки, определенные одним числом для теоретических значений MX и DX , и при достаточно большом числе отказов можно считать $\bar{X} = MX$ и $\sigma^2 = DX$.

В связи с тем, что объем выборки, как правило, невелик, необходимо пользоваться интервальными оценками, которые определяются двумя числами – концами интервала m_n и m_e (рисунок 6.6).

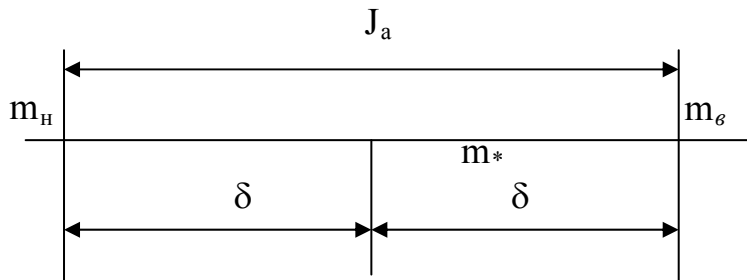


Рисунок 6.6 - Доверительный интервал и доверительные границы:
 δ – характеристика точности оценки.

Доверительной вероятностью (надежностью) оценки m по m^* называют вероятность α , при которой выполняется неравенство $|m - m^*| < \alpha$.

Обычно задаётся надежность оценки, причем в качестве α берут число, близкое к единице. Пусть вероятность того, что $|m - m^*| < \delta$ равна α :

$$P[|m - m^*| < \delta] = \alpha,$$

где δ – заданная точность;

α – достоверность оценки.

Доверительным интервалом J_a называют интервал $(m^* - \delta; m^* + \delta)$, который включает определяемый параметр с заданной вероятностью, т.е. это интервал, в который при заданной доверительной вероятности попадает 100 % α случаев от N и характеризует точность оценки.

4 Прогнозирование работоспособности сложных технических систем

Оценка показателей надежности элементов машин по результатам периодического или разового определения технического состояния при техническом обслуживании и ремонте основана на связи их параметров состояния и наработки.

Наиболее распространенной зависимостью $I(t)$ параметров состояния от наработки элемента является степенная функция вида:

$$I(t) = V \cdot t^\alpha + Z(t) + \Delta\Pi,$$

где V – коэффициент, характеризующий интенсивность изменения параметра;
 t – наработка;

α – показатель степени, характеризующий динамику изменения параметра;

$Z(t)$ – функция случайного отклонения фактического изменения параметра от гладкой теоретической кривой;

$\Delta\Pi$ – изменение значения показателя за период приработки.

Обработку информации одноразового измерения параметров однотипных элементов проводят в следующем порядке.

1. Записывают статистические ряды отклонений параметра от начального значения $I_i(t)$ и наработки t_i элемента:

$$I_i(t) = | \Pi_i(t) - \Pi_n |,$$

где $\Pi_i(t)$ – измеренное значение параметра при наработке (t_i);

Π_n – начальное значение параметра;

t – наработка элемента (составной части) от начала эксплуатации.

2. Ряд значений $I_i(t)$ располагают в порядке возрастания наработки. Разбивают весь диапазон наработки, в пределах которого имеются наблюдения, на 6...8 интервалов; для каждого интервала вычисляют средние отклонения параметра I_i и значения наработки t_i ($i = 1, 2, \dots, k_i$; k_i – число интервалов). Соединяют точки на графике прямыми линиями и получают экспериментальную зависимость изменения среднего параметра от наработки.

3. Затем определяют параметр $\Delta\Pi$ за период приработки. Для определения величины $\Delta\Pi$ на графике визуально находят точку перегиба, которая разделяет периоды приработки от нормального, установившегося, изменения параметра.

Для определения величины $\Delta\Pi$ используют координаты точки перегиба I_n и t_n и двух вспомогательных точек – I_e, t_e и I_c, t_c .

Координаты I_e, t_e присваивают точке пересечения экспериментальной кривой параметра с кривой третьего или последующих интервалов наработки.

Координаты I_c, t_c находят в последовательности:

- сначала определяют координату t_c :

$$t_c = (t_n \times t_e)^{1/2}$$

- затем координату I_c по графику.

Величину $\Delta\Pi$ вычисляют по формуле:

$$\Delta G = (B_y B_d - B_c^2) \times (B_y + B_d - 2 B_c)^{-1}$$

при этом $\Delta\Pi < I_n, \alpha$ – определяется по известным данным ($\alpha = 1.0 \dots 2.0$).

4. По значениям $\Delta\Pi$ и α вычисляют ресурс R_i каждого элемента по формулам:

$$R_i = t_i \left[\frac{I_n}{I_i(t)} \right]^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$I_{\Pi} = |\Pi_{\Pi} - \Pi_n| - \Delta\Pi,$$

$$I_i(t) = |\Pi(t) - \Pi_n| - \Delta\Pi,$$

где Π_{Π} – предельное значение параметра.

В справочных таблицах приведены значения $[I_{\Pi} / I_i(t)]^{1/\alpha}$.

Предварительные значения среднего ресурса и коэффициента вариации находят по формулам:

$$\bar{R} = \left(\sum_{i=1}^n R_i \right) / N,$$

$$V_R = \left[\left(\sum_{i=1}^n R_i^2 - N \cdot \bar{R}^2 \right) / (N-1) \cdot \bar{R}^2 \right]^{1/2}$$

5. Далее анализируют статистический ряд ресурсов отдельных элементов в целях исключения резко выделяющихся (ошибочных) значений, их отбраковывают по результатам вычисления величины

$$B_i = \left[(R_i / \bar{R}) - 1 \right] / V$$

Её сравнивают с допустимой величиной B_q в зависимости от числа элементов и доверительной вероятности. Если $B_i > B_q$, то соответствующее значение исключается.

После исключения ошибочных, значений ресурса отдельных элементов определяют уточненный средний ресурс по формуле

$$R_i = (I_{\Pi} / V_i)^{1/\alpha}$$

5 Методологические основы предотвращения отказов при эксплуатации технических систем

Информацию о нарастающем старении систем можно получить из рассмотрения динамики некоторых определяющих параметров.

Таковыми параметрами могут быть:

- повышенная количественная оценка механического износа части конструкции;
- повышенный расход горючего;
- снижение чувствительности измерительного инструмента;
- изменение структуры материала и т. п.

Придание этим параметрам исходного значения, которое они имели в начале работы ($t = 0$), называется восстановлением. Для количественной оценки процесса восстановления необходимо математическое моделирование динамики определяющих параметров.

Обозначим через \mathcal{Y}_t значение параметра в момент t . В теории восстановления рассматривается стохастический процесс $\{\mathcal{Y}_t\}_t \geq 0$, задаваемый в ви-

де $\gamma_t = \gamma_t + x_t$, где $\{x_t\}_{t \geq 0}$ - действительно-значный стохастический процесс, обладающий свойством $P(X_0) = 1$.

Существуют одномерные функции распределения процесса $\{\gamma_t\}$ и соответствующие плотности распределения:

$$F_1(x) = P(\gamma_t \leq x);$$

$$f(x) = dF_1(x)dx$$

Допустимая область, определяющая безотказную работу системы, задаётся отрезком $[\gamma_H, \gamma_B]$, либо, когда возможны лишь односторонние отклонения, в виде ограничений снизу γ_H или сверху γ_B . Основной характеристикой безотказности является случайное время до наступления постепенного отказа (выхода определяющего параметра за границы допустимой области) называется наработкой. Основное внимание в теории восстановления уделяется вычислению наработки при различных заданных моделях динамики определяющих параметров. Информация о параметрах этого распределения позволяет планировать мероприятия по восстановлению для серии идентичных систем, т. е. планировать техническое обслуживание по некоторым нормативным показателям. Отличием данного подхода является отказ от обслуживания и переход к обслуживанию каждой системы в зависимости от её фактического состояния.

При таком подходе важное значение имеет не ряд случайных функций $\{\gamma_t\}_{t \geq 0}$, а отдельная реализация γ_t . При этом будем считать известной модель динамики определяющего параметра с точностью до постепенных неизвестных коэффициентов этой модели, оцениваемых путём математической обработки измерений процесса γ_t .

Основной концепцией обеспечения надёжности техники на современном этапе её развития является системность.

Системы обеспечения надёжности охватывают весь жизненный цикл изделия от разработки до эксплуатации. При это методы обеспечения надёжности специфичны для каждого этапа жизненного цикла. Так ключевыми методами обеспечения проектной надёжности являются:

- выбор соответствующих материалов;
- определение запасов прочности;
- применение надёжных конструкций;
- использование различных схем резервирования и т. п.

Технологическая надёжность обеспечивается, как правило, стабилизацией технологических процессов производства.

Эксплуатационная надёжность обеспечивается в основном организацией технического обслуживания.

При планировании частоты обслуживания выделяют два подхода:

1. С постоянными периодами между обслуживанием, рассчитанными по некоторым усредненным для партии показателям.

2. С переменными периодами, определёнными на основе оценки фактического состояния изделия (обслуживания по фактическому состоянию).

В настоящее время наблюдается тенденция перехода ко второму подходу на основании более точного диагностирования.

По мере развития информационно-измерительной техники разделения отказов на внезапные и постепенные параметрические становится все более условным.

Обычно при скачкообразном изменении параметра отказ классифицируется как внезапный. При длительном, постепенном и непрерывном изменении отказ называют постепенным. Однако такая классификация является субъективной. Действительно, изменение параметра с достаточно большей крутизной можно считать и внезапным, и постепенным отказом. Поскольку даже у внезапного отказа имеется «предыстория», которая позволяет обнаружить предотказное состояние и предотвратить тем самым наступление отказа.

Распространение метода предотвращения отказов на подобном случае может быть достигнуто с использованием идей. В качестве определяющего параметра может быть выбрана функция потери качества.

Алгоритм решения задачи расчетов ширины допуска на параметр следующий:

- полный допуск разбивается на несколько интервалов.
- определяется, в какой из интервалов попадает измеряемый параметр.
- вычисляется соответствующая функция потери качества.
- известными детерминированными методами экстраполяции прогнозируется значение этой функции на заданный интервал времени.
- прогнозируемое значение сравнивается с допустимым и принимается решение о продолжении или прекращении эксплуатации.

Данный алгоритм применим при эксплуатации технических систем и планировании их технического обслуживания по фактическому состоянию.

7 ИСПЫТАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

1. Методы испытаний на работоспособность.
2. Стендовые и полигонные испытания
3. Требования к методам контроля показателей работоспособности.
4. Планы контрольных испытаний.
5. Виды распределений при контроле показателей работоспособности.
6. Эксплуатационные испытания.

1 Методы испытаний на работоспособность

Цель испытания – определение показателей надежности сельскохозяйственной техники и сравнение с нормативными показателями или с показателями машин-аналогов.

Изделие подвергают испытаниям на функциональные свойства и на надежность.

Функциональные свойства определяют при кратковременных испытаниях, по продолжительности не сравнимых с испытаниями на надежность.

Испытания на надежность проводят для определения или оценки показателей надежности изделий в данных условиях.

Контроль нормируемых показателей надежности должен включать:

- получение и математическую обработку исходных данных;
- принятие решения о соответствии или несоответствии изделий установленным требованиям;
- анализ причин и последствий отказов с целью разработки мероприятий по повышению надежности изделий.

В зависимости от способа получения исходных данных методы контроля показателей надежности подразделяют на расчетные, экспериментальные и расчетно-экспериментальные в соответствии с ГОСТ 27.410-87.

Расчетные методы основаны на вычислении показателей надежности изделия по справочным данным о надежности составных частей изделия с учетом его функциональной структуры и видов разрушения, по данным о надежности изделий-аналогов, по результатам экспертной оценки надежности, по данным о свойствах материалов, элементов изделий и нагрузках на них, механизме отказа и по другой информации, имеющейся к моменту расчета надежности.

Экспериментальные методы основаны на использовании статистических данных, получаемых при испытаниях изделий на надежность, или данных опытной или подконтрольной эксплуатации.

План контроля показателей надежности должен содержать число испытываемых образцов; стратегию проведения испытаний с восстановлением и (или) заменой отказавших изделий, без восстановления и (или) замены отказавших изделий; правила прекращения испытаний; число независимых наблюдений и отрицательных исходов этих наблюдений, позволяющих принять решение о со-

ответствии или несоответствии изделий заданным требованиям и уровню надежности, а также правила принятия решения.

Расчетно-экспериментальные методы основаны на вычислении показателей надежности по исходным данным, определяемым экспериментальными методами. Исходными данными для этого служат:

- информация о надежности изделия, полученная в ходе испытаний или эксплуатации;
- экспериментальные значения единичных показателей надежности, определяющих контролируемый комплексный показатель надежности;
- экспериментальные значения показателей надежности составных частей изделий, полученные при автономных (поэлементных) испытаниях, а также в составе другого изделия;
- экспериментальные значения параметров нагрузки, износостойкости и прочности изделия и его составных частей;
- экспериментальные данные об изменении параметров, характеризующих работоспособное состояние изделий.

Метод контроля показателей надежности изделий выбирают с учетом:

- видов работ на стадиях жизненного цикла изделия;
- заданной номенклатуры и норм показателей надежности;
- требований к достоверности контроля показателей надежности;
- особенностей конструкций и функционирования изделия;
- характеристики условий и режимов эксплуатации;
- предполагаемого вида закона распределения наработки до отказа (между отказами) и (или) до предельного состояния, продолжительности восстановления и т.п.;
- возможности выделения необходимого числа образцов для испытаний на надежность;
- технических возможностей и оснащенности испытательной базы;
- ограничений по продолжительности и стоимости испытаний на надежность.

Виды испытаний могут быть: предварительные, приемочные, квалификационные, приемо-сдаточные, периодические, типовые, самостоятельные, эксплуатационные и др. Все эти испытания могут быть нормальные и ускоренные.

Изделие машиностроения подвергают функциональным испытаниям и испытаниям на надежность. Функциональные свойства определяют при кратковременных экспериментах, по продолжительности несравнимых с испытаниями на надежность.

Испытания на надежность проводят для определения или оценки показателей надежности изделий в данных условиях (ГОСТ 16504-81).

Показатели надежности сравнивают с нормативами или показателями для машин-аналогов.

Различают исследовательские и контрольные испытания (рисунок 7.1).



Рисунок 7.1 - Классификация испытаний

При исследовательских испытаниях определяют количественные показатели надежности и влияние на их значения различных факторов.

Исследовательские испытания применяются для углубленного изучения свойств изделий и ряда факторов, влияющих на надежность.

К задачам таких испытаний относятся:

- определение пределов выносливости деталей;
 - построение кривых износов и усталости;
 - определение законов распределения ресурсов и отказов;
 - сравнение ресурсов и безотказности изделий, изготавливаемых с применением различной технологии;
 - определение критериев предельного состояния изделий и др.
- Техническая диагностика занимает промежуточное место и служит для выявления изменения параметров. Исследовательские испытания могут быть *стандартными* и *специальными*. При *стандартных* испытаниях обычно объектами являются образцы изделий (испытания на износостойкость, усталостную прочность, коррозионную стойкость), а результаты испытаний непосредственно не определяют показатели надежности.

Специальные исследовательские испытания применяют для углубленного изучения свойств изделий и ряда факторов, влияющих на надежность. В частности, к задачам таких испытаний относятся:

определение законов распределения ресурсов и отказов, сравнение ресурсов и безотказности изделий, изготовленных с применением различной технологии, различающихся по конструкции, точности изготовления или материалам, работающих при разных режимах, определение критериев предельного состояния изделий и т.д.

Подготовка испытаний изделий делится на ряд этапов.

Первый этап - выбор системы испытаний. Возможны два варианта:

- испытания надежности изделий в целом; без испытаний элементов;

- ресурсные испытания элементов в сочетании с испытаниями изделий в целом по схеме: деталь - узел - агрегат - машина.

Второй этап - выбор объектов. Получают номенклатуру и классифицируют.

Третий этап - выбор основного вида повреждений, который должен быть воспроизведен при ресурсных испытаниях.

Четвертый этап - выбор метода испытаний и испытательного оборудования.

Пятый этап - выбор режима испытаний.

Шестой этап - планирование испытаний.

2 Стендовые и полигонные испытания

Стендовые и полигонные испытания проводят в основном как ускоренные, что требуется для быстрого получения информации о надежности.

Ускоренные испытания можно подразделить:

1. Уплотненные по времени

Уплотнение времени достигается круглосуточными испытаниями (без увеличения нагрузок)

Достоинства таких испытаний - достижение эффекта без искажения физических характеристик объекта.

Пример: за четыре месяца моделирования на стендах получил результаты аналогичные шести годам эксплуатации свеклоуборочного комбайна.

Оба вида могут быть усеченными и полными. При усечении по времени испытания ведут либо до появления достаточной доли отказавших объектов из общего числа поставленных на испытания, либо до выпадения закономерности изменения параметров состояния совокупности.

2. Усеченные испытания

3. Граничные испытания получают минимальный ресурс, возможный с определенной вероятностью в эксплуатации при неблагоприятном сочетании условий. Они могут быть использованы как контрольные (могут быть установлены минимально допустимые ресурсы, которые должен обеспечить изготовитель продукции):

Если при испытаниях известно, что объект реализовал наработку K_n раз большую за календарное время чем в эксплуатации, то средний ресурс, полученный при ускоренных испытаниях T_y пересчитывается на ожидаемый средний ресурс в эксплуатации:

$$T_э = k_n T_y$$
$$K = \alpha \sqrt{V_y / V_{50}}$$

Несмотря на эффективность уплотненных испытаний, они не всегда могут дать, достаточное ускорение в получении информации о надежности объекта приходится прибегать к ужесточению по факторам нагружения.

4. Ужесточенные по нагружению испытаниями называются такие, при которых ускоренное получение информации достигается интенсификацией физико-химического процесса разрушения.

Чтобы обеспечить эффективность ужесточенных испытаний, необходимо соблюсти их подобие с эксплуатацией. Подобие может быть физическое и математическое.

Физическое подобие состоит в том, чтобы физическая картина отказов была одинакова по характеру и виду разрушения.

Математическое подобие состоит в том, чтобы вероятность безотказности работы были одинаковы.

Теория подобия базируется на следующих основных теоремах:

1. Подобие явления имеют одинаковые критерии подобия.
2. Зависимость между переменными характеризующими явление, может быть представлена как зависимость между критериями подобия.
3. Необходимым и достаточным условием подобия является подобие условий однозначности и равенство определяющих критериев подобия изучаемого явления.

Контроль качества и надежности техники при изготовлении и ремонте составляет сущность контрольных испытаний.

В процессе производства действуют факторы, которые приводят к понижению надежности изготавливаемых объектов. Имеются две группы факторов:

- грубые нарушения форм технологического процесса;
- непредусмотренные частичные изменения первоначальных свойств элементов и материалов, понижающих их надежность.

Дефекты первой группы обнаруживаются путем полной проверки системы на соответствие ее параметров требованиям технических условий. Контроль дефектов второй группы - это контроль надежности системы. Он связан с существенной выработкой ресурса или даже с разрушением контролируемых изделий.

Различают два вида статистического выборочного контроля надежности: контроль по альтернативному признаку и контроль по количественному признаку.

При контроле по альтернативному признаку все изделия в выборке разбиваются на две группы: годные и дефектные. Оценку надежности партии проводят по доле дефектных изделий в общем числе проверенных изделий. Область применения контроля по альтернативному признаку распространяется в основном на малогабаритные детали массового производства, на те, где трудно фиксировать в ходе испытаний изменения параметров состояния изделия, их проще контролировать непосредственно отказ (пружины, сальники, подшипники, прокладки).

При контроле по количественному признаку у каждого изделия при испытаниях определяют один или несколько параметров и оценку партии проводят по статистическим характеристикам распределения этих параметров.

При испытаниях, например, на долговечность все изделия выборки доводят до отказа, фиксируют наработку каждого из них, а затем, анализируя статистические характеристики наработки, устанавливают соответствующие всей партии нормативам надежности.

Технические средства ускоренных испытаний

1. На стендах (для испытания двигателей в запыленной среде, вибростенды кабин и т.д.);

- ходовая часть;
- несущая система;
- механизм привода и трансмиссия;
- регулирующие рабочие органы (лемеха, плуга и т.п.);
- транспортирующие рабочие органы;
- системы управления и подъема;
- детали и сборочные единицы общего назначения (звездочки, цепи и т.п.).

2. На треках - имитация нагрузок (в основном на несущую систему машин);

3. На полигонах - достигается степень ускорения в 2...5 раз и до 30 раз при ужесточенных режимах испытаний.

3 Требования к методам контроля показателей работоспособности

Требования к расчётным методам контроля показателей надёжности (ПН). Расчетные методы применяют на этапах научно-исследовательских работ, технического предложения, опытно-конструкторских работ (эскизный проект, технический паспорт и рабочая конструкторская документация) с целью:

- определения возможности обеспечения требуемых значений (ПН) при выбранном варианте конструкторского и (или) технического решения, условий эксплуатации и установленных ограничений на массу, размеры и стоимость изделий;

- прогнозирования значений ПН;
- установления требований надёжности составных частей и определения возможности применения серийно выпускаемых составных частей и материалов;

- определения задач экспериментальной отработки изделия.

Расчетные методы допускается также применять, по согласованию с потребителем (заказчиком), для контроля соответствия требованиям к надежности уникальных, дорогостоящих изделий, если имеются технико-экономические обоснования невозможности или нецелесообразности применения экспериментальных и расчетно-экспериментальных методов при решении вопроса о постановке их на производство и сдаче в эксплуатацию.

В методику расчета ПН должны быть включены:

- указания по составлению расчетной схемы надежности изделия;

- номенклатура ПН и требования к точности расчетов;
- исходные данные для расчета с указанием источника их получения;
- формулы для расчета ПН или алгоритмы и программы расчета показателей на ЭВМ;
- правила сравнения расчетных значений показателей со значениями, заданными в техническом задании.

Таблица 7.1 – Источники информации об изделии

Этап жизненного цикла	Источник основной информации	Источник дополнительной информации
Исследование Обоснование Разработки	Предварительные испытания	Испытания и (или) эксплуатация изделия-прототипа Испытания и (или) эксплуатация изделий – аналогов
	Приёмочные испытания	Исследовательские испытания изделия Испытания изделия в процессе отработки (доводочные)
Производство	Квалификационные Периодические Типовые Самостоятельные	Предыдущие приёмочные и приёмочные испытания изделия Типовые испытания изделия или его модернизированных составных частей Испытания и (или) эксплуатация изделия-прототипа
Эксплуатация	Эксплуатационные испытания	Испытания и (или) эксплуатация изделия-прототипа или изделий-аналогов

В результатах расчета должны быть приведены:

- функции распределения переменных, определяющих рассчитываемые ПН;
- принятая расчетная схема надежности и ее обоснование;
- расчетные и заданные значения показателей надежности;
- выводы о принципиальной возможности достижения требуемого уровня надежности для принятого варианта конструкторского решения;
- выводы о возможности перехода к следующему этапу разработки;
- задачи отработки изделия на надежность на следующем этапе разработки для обеспечения требуемого уровня надежности.

Требования к экспериментальным методам контроля ПН. Экспериментальные методы являются основными для контроля ПН. Число невосстанавливаемых объектов для испытаний устанавливается в соответствии с вы-

бранным планом испытаний, а число восстанавливаемых объектов для испытаний - с учетом условия получения за время испытаний наработки, достаточной для контроля ПН с заданной точностью и достоверностью.

При контроле конкретных ПН все отказы изделий, зафиксированные при испытании или эксплуатации, подразделяются на учитываемые и не учитываемые, при этом не учитываются отказы:

- зависимые, возникшие одновременно с независимыми;
- вызванные воздействием внешних факторов, не предусмотренных в ТЗ и ТУ на изделие;
- вызванные нарушением, обслуживаемым персоналом инструкций по эксплуатации, ТО и ремонту.

При необходимости проводится предварительная обработка данных испытаний для выявления выпадающих значений, проверки однородности, независимости и вида распределения.

Обработка данных контрольных испытаний должна обеспечивать определение соответствия продукции требованиям нормативно-технических документов с указанием вероятностей ошибок при принятии решения о соответствии или несоответствии испытываемых изделий указанным требованиям.

Испытания на надежность опытных образцов проводят в составе предварительных и (или) приемочных испытаний.

Испытания на надежность по ускоренному методу проводят, если определены:

- принцип и методы ускорения испытаний;
- режимы ускоренных испытаний;
- расчетные формулы и (или) коэффициенты, позволяющие привести данные и результаты ускоренных испытаний к нормальным условиям испытаний.

Испытания на надежность проводят по программам и методикам, утвержденным в установленном порядке.

Испытания изделий на надежность на этапе серийного производства проводят в составе типовых и периодических испытаний. Методика испытаний дополнительно должна содержать следующие сведения:

- периодичность проведения испытаний;
- метод и планы испытаний;
- число испытываемых изделий;
- правила отбора изделий в выборку для испытаний;
- режимы испытаний;
- перечень контролируемых параметров и периодичность их проверки;
- перечень необходимого испытательного и контрольно-измерительного оборудования;
- номенклатура и значения параметров для решения о принятии или отбраковке испытываемых изделий;

- порядок учета и статистического анализа отказов (предельных состояний);
- порядок выявления причин отказов;
- порядок проведения ТО и ремонта испытуемых изделий.

Требования к расчетно-экспериментальным методам контроля ПН.

Расчетно-экспериментальные методы применяются, если по техническим, экономическим или организационным причинам невозможно или нецелесообразно применять для этой цели экспериментальные методы, например:

- для контроля комплексных ПН, если объекты испытаний не позволяют проконтролировать указанные показатели экспериментальными методами с заданными точностью и достоверностью (рисками);
- для контроля надежности изделий, размеры и особенности, функционирования которых или требования безопасности не позволяют испытывать их в полном составе;
- для контроля уникальных изделий.

В отчете (протоколе, акте) о результатах контроля ПН изделий приводят:

- выводы о соответствии или несоответствии изделия требованиям к надежности и значениям достигнутых показателей;
- перечень и характеристику отказов составных частей, наблюдавшихся в процессе их автономных или комплексных испытаний;
- анализ причин отказов и принятые меры по их устранению;
- рекомендации по доработке изделия и его составных частей с целью повышения или достижения заданного уровня надежности, предложения по уточнению состава запасных инструментов и норм расхода запасных частей.

Результаты испытаний оформляют и утверждают в установленном порядке протоколом (актом), в который включают наименование продукции; код продукции по национальному классификатору; наименование предприятия-изготовителя; адрес (страна, город, почтовый индекс и др.); сведения о продукции (тип, марка, основные параметры и т.п.); цель испытаний; число испытанных образцов (номер изделия, номер партии, дата изготовления); наименование предъявителя образцов для испытаний (наименование органа, номер и дата сопроводительного письма, документа и др.); ссылку на программу и методику испытаний; перечень наблюдавшихся отказов и их классификацию; выявленные причины отказов (с указанием методов анализа) и нетехнологичность при ТО и ремонте; обработанные результаты испытаний; выводы о соответствии образцов изделий заданным требованиям и значениям достигнутых показателей; выводы о правильности и достаточности номенклатуры критериев отказа и предельного состояния; рекомендации по доработке изделий с целью повышения или достижения заданного уровня надежности.

4 Планы контрольных испытаний

Планы контрольных испытаний. Выбор плана контрольных испытаний определяется:

- видом контролируемых ПН, в том числе, показателей типа T (наработка, ресурс, срок службы, срок сохраняемости, срок хранения, время восстановления и т.п.); показатели типа P (вероятность безотказной работы, безотказного хранения, восстановления за заданное время, гамма-процент для заданного значения показателей типа T и т.п.); комплексных показателей;

- составом исходных данных (знание предполагаемого закона распределения наработок до отказа или предельного состояния, риска потребителя, риска поставщика, нормы, браковочного и приемочного значений показателей надежности, предполагаемого коэффициента вариации наработок до отказа или предельного состояния и т.п.);

- принятым методом контроля (двухступенчатый контроль, последовательный контроль для восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий, контроль при помощи доверительных границ).

Одноступенчатым методом целесообразно пользоваться при жестком ограничении времени, отводимого на испытания.

Последовательным методом целесообразно пользоваться при ограниченном числе изделий, выделяемых для испытаний. Этот метод наиболее эффективен при испытаниях восстанавливаемых изделий.

Метод доверительных интервалов рекомендуется применять при использовании данных эксплуатационных наблюдений, а также после одноступенчатого контроля, для уточнения достоверности принятого решения после одноступенчатого контроля.

При определении ПН используются следующие распределения:

- экспоненциальное;
- Вейбулла;
- нормальное;
- логарифмическое нормальное распределение;
- диффузионное.

Контроль параметров ПН может быть по:

- по типу T ;
- типу P ;
- интенсивности отказов;
- среднему времени восстановления;
- доверительным границам.

Согласно ГОСТ 27.410-87 различают 15 планов испытаний: [NUT], [NUr], [NU(r, T)], [NRT], [NRr], [NR(r, T)], [NMT], [NMT Σ], [NMr], [NM(r, T Σ)], [NU(r₁, n₁) ... (r_{k-1}, n_{k-1}) r_k], [NU(T₁N₁), (T₂, n₂) ... (T_{k-1}, n_{k-1}), T_k], [NUz], [NUS], [NRS], [NMS].

Буквы U, R, M в обозначениях планов испытаний указывают степень и характер восстановления объектов:

U – невосстанавливаемые и незаменимые при испытаниях в случае отказа;

R – восстанавливаемые, но заменяемые при испытаниях в случае отказа;

M – восстанавливаемые при испытаниях в случае отказа;

N – объем выработки;

T – время испытаний или наработка;

r – число отказов или отказавших объектов;

T_{Σ} – суммарное время испытаний или суммарная наработка;

S – принятие решения при последовательных испытаниях.

Пример. При испытаниях [NUr] – план испытаний, согласно которому испытывают одновременно N объектов; отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливают и не заменяют; испытания прекращают, когда число отказавших объектов достигло r . При $r = N$ имеем план [NUN].

Рассмотрим в качестве примера контроль показателей надежности типа T .

При контроле ПН типа T исходными данными являются: норма показателя – T_n ; предполагаемый закон распределения наработок; риск потребителя – β ; риск поставщика – α ; браковочное значение контролируемого показателя – T_{β} ; приемочное значение контролируемого показателя – T_{α} .

Экспоненциальное распределение (одноступенчатый контроль). Испытания прекращают, как только будет достигнуто одно из значений: r_{np} или t_{\max}/T_{α} , при этом r_{np} – число отказов или отказавших объектов; t_{\max} – предельная суммарная наработка.

При испытаниях без восстановления или без замены изделий новыми объем выработки должен быть не меньше предельного числа отказов (предельных состояний).

При испытаниях с восстановлением или заменой объем выработки не регламентируют. Допускается уменьшать (увеличивать) продолжительность испытаний при пропорциональном увеличении (уменьшении) числа испытываемых объектов при условии обеспечения требуемой суммарной наработки t_{\max} .

Если продолжительность испытаний t_u задана, все образцы испытывают одновременно, а отказавшие заменяют (или полностью восстанавливают), то необходимое число образцов можно подсчитать так: $N = t_{\max}/t_u$.

Если отказавшие изделия не заменяют и не восстанавливают, число образцов до достижения той же суммарной наработки при той же общей продолжительности испытаний вычисляют по формуле:

$$N \cong \frac{t_{\max}}{t_u} + \frac{t_{\max}}{T_{\alpha}} = \frac{t_{\max}}{T_{\alpha}} \left(\frac{T_{\alpha}}{t_u} + 1 \right).$$

В ходе испытаний определяют суммарную наработку t_{Σ} .

При испытаниях без восстановления или без замены

$$t_{\Sigma} = (N - r)t_u + \sum_{i=1}^r t_j,$$

где t_j – наработка от начала испытаний j -го из r отказавших изделий.

При испытаниях с восстановлением или заменой

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N t_i,$$

где t_i – суммарная наработка i -го изделия за время испытаний.

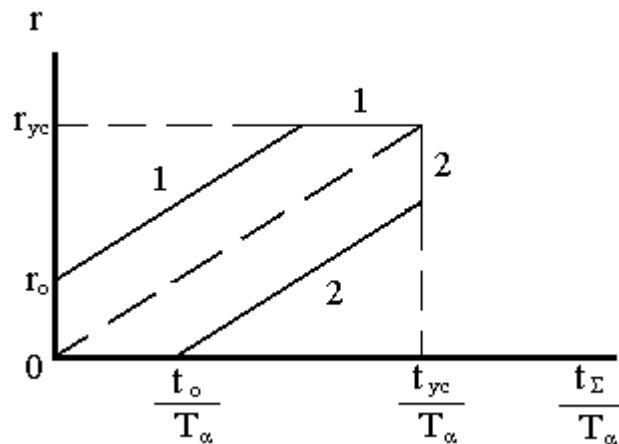
Если первым достигается предельное число образцов r_{np} при $t_{\Sigma} < t_{max}$, принимают решение о несоответствии требованиям к показателю надежности.

Если первым достигается $t_{\Sigma} = t_{max}$ при $r < r_{np}$, принимают решение о соответствии требований к показателю надежности.

Экспоненциальное распределение (последовательный контроль). По параметрам плана испытаний строят в прямоугольной системе координат (рисунок 7.1) наклонные линии:

$$r = a t_{\Sigma} / T\alpha + r_o - \text{несоответствия,}$$

$$r = a (t_{\Sigma} / T\alpha - t_o / T\alpha) - \text{соответствия.}$$



1 – линия несоответствия; 2 – линия соответствия.

Рисунок 7.1 - График последовательных испытаний

Усечение испытаний по числу отказов следует производить при r_{yc} , по суммарной наработке – при $t_{yc}/T\alpha$.

При испытаниях без восстановления или без замены минимальный объем выборки $N = r_{yc}$.

При необходимости завершить испытания в течение заданной продолжительности t_u объем выборки N определяют в зависимости от требуемого отношения t_u/T_{β} для каждого из планов.

Для проведения испытаний могут быть выбраны числа испытываемых изделий N , для которых отношения t_u/T_{β} не больше требуемого.

При наличии отказов графиком последовательных испытаний является ступенчатая линия, сумма отрезков которой, параллельных оси $\frac{t_{\Sigma}}{T\alpha}$, равна отношению суммарной наработки образцов в момент времени t к значению $T\alpha$, а сумма отрезков, параллельных оси r , равна числу отказов к моменту t .

При отсутствии отказов графиком последовательных испытаний является прямая линия с началом в точке 0, совпадающая с осью $\frac{t_{\Sigma}}{T_{\alpha}}$. При этом $t_{\Sigma} = NT$.

При испытаниях с восстановлением или заменой суммарную наработку образцов t_{Σ} в момент t вычисляют по формуле:

$$t_{\Sigma} = Nt - \sum_{j=1}^r t_{bj},$$

где t_{bj} – длительность восстановления работоспособного состояния после j -го из r отказов или длительность замены j -го из r отказавших образцов новыми.

При испытаниях без восстановления или без замены суммарную наработку образцов в момент t вычисляют по формуле

$$t_{\Sigma} = (N - r)t + \sum_{j=1}^r t_j,$$

где t_j – наработка до отказа j -го из r отказавших образцов.

Решение о соответствии требования к показателю надежности принимают при пересечении графиком последовательных испытаний линии соответствия. Решение о несоответствии – при пересечении линии несоответствия.

Для обеспечения равенства истинных рисков с запланированными рекомендуется применять соответствующие планы контроля.

В процессе испытаний суммарную наработку в момент очередного отказа сравнивают с табличным нормативом. Решение о несоответствии принимают, как только суммарная наработка к моменту очередного отказа окажется ниже нормативной.

5 Виды распределений при контроле показателей работоспособности

Распределение Вейбулла (одноступенчатый контроль). При планировании и испытании используют отношение $(T_{\alpha}/T_{\beta})^{\kappa_b}$ и формулу

$$\left(\frac{t_{\Sigma}}{T_{\alpha}}\right)_{\text{Вейб}} = (N - r) \left(\frac{t}{a_{\alpha}}\right)^b + \sum_{j=1}^r \left(\frac{t_j}{a_{\alpha}}\right)^b,$$

где $a_{\alpha} = \frac{T_{\alpha}}{\kappa_b} = \frac{T_{\alpha}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)}$.

Во втором случае наработки следует пересчитать на вероятность, используя соотношения:

$$P_{\alpha}(t_u) = \exp\left\{-\left[\frac{t_u}{a_{\alpha}}\right]^b\right\} \text{ и } P_{\beta}(t_u) = \exp\left\{-\left[\frac{t_u}{a_{\beta}}\right]^{\kappa_b}\right\},$$

$$\text{где } a_{\beta} = \frac{T_{\beta}}{\kappa_{\epsilon}} = \frac{T_{\beta}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\epsilon}\right)}.$$

Распределение Вейбулла (последовательный контроль). Планирование контроля и испытания проводят, используя вместо относительной суммарной наработки сумму отношений $(t_j/a_{\alpha})^{\epsilon}$.

Уравнения наклонных прямых имеют вид (рисунок 7.1):

$$r = a \left(\frac{t_{\Sigma}}{T_{\alpha}} \right)_{\text{Вейб}} + r_o - \text{линия несоответствия};$$

$$r = a \left[\left(\frac{t_{\Sigma}}{T_{\alpha}} \right)_{\text{Вейб}} - \frac{t_o}{T_{\alpha}} \right] - \text{линия соответствия}.$$

Значения a , r_o , r_{yc} , t_o/T_{α} определяют, используя вместо T_{α}/T_{β} величину $(T_{\alpha}/T_{\beta})^{\epsilon}$, а вместо t_u/T_{β} следует использовать величину $(t_u/a_{\beta})^{\epsilon}$.

При неизвестном параметре формы испытывают N образцов ($N \geq 3$) до отказа или достижения относительной суммарной наработки $\frac{t_{\Sigma}}{T_{\alpha}} = 5N$.

В противном случае переходят к следующему этапу.

На основе данных испытаний N образцов определяют оценку максимального правдоподобия параметра и устраняют ее смещение умножением на коэффициент $B(N)$ (таблица 7.2):

Таблица 7.2 Результаты устранения смещения параметра

N	3	4	5	6	7	8	9	10
$B(N)$	0,488	0,593	0,593	0,752	0,792	0,820	0,842	0,859

Полученную несмещенную оценку параметра формы применяют к имеющимся данным. Если данных достаточно для принятия решения, испытания прекращают. В противном случае переходят к следующему этапу.

Испытывают дополнительный образец до отказа или до принятия решения. Решение о соответствии может быть принято в любой момент до отказа, о несоответствии – в момент отказа. Если решение принято, испытания прекращают, в противном случае возвращаются, используя несмещенную оценку в качестве первого приближения для итеративного оценивания параметра формы.

Нормальное распределение, усеченное слева (одноступенчатый контроль). Параметры плана контроля определяют после пересчета наработки на вероятность при помощи формул:

$$P(t_u) = F_o \left(\frac{T_{cp}}{\sigma} \right) / F_o \left(\frac{T_{cp}}{\sigma} \right),$$

Если нормируют T_{cp} , а продолжительность испытаний t_u ;

$$P(t_u) = P(T_{\gamma\%}) = F_o\left(\frac{T_{cp} - T_{\gamma\%}}{\sigma}\right) / F_o\left(\frac{T_{cp}}{\sigma}\right) = \frac{\gamma\%}{100},$$

Если нормируют $T_{\gamma\%}$, а $t_u = T_{\gamma\%}$;

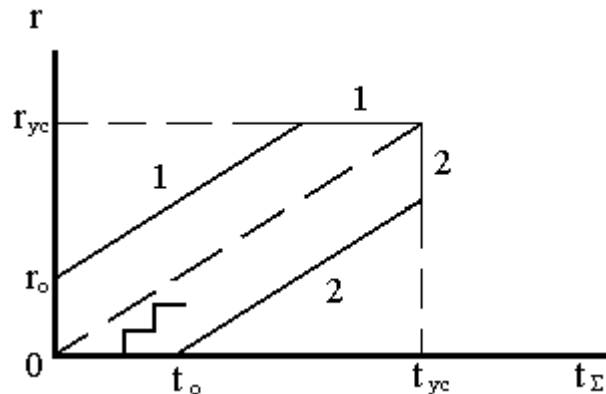
$$P(t_u) = F_o\left(U_{\gamma\%} + \frac{T_{\gamma\%} - T_u}{\sigma}\right) / F_o\left(\frac{T_{cp}}{\sigma}\right),$$

Если нормируют $T_{\gamma\%}$, а $t_u \neq T_{\gamma\%}$;

Здесь $U_{\gamma\%}$ есть решение уравнения

$$F_o(U_{\gamma\%}) = \gamma\% / 100.$$

Нормальное распределение, усеченное слева (последовательный контроль). График последовательных испытаний имеет вид, показанный на рисунке 7.2.



1 — линия несоответствия; 2 — линия соответствия.

Рисунок 7.2 - График последовательных испытаний

Уравнения наклонных прямых:

$$r = a t_{\Sigma} + r_o - \text{линия несоответствия};$$

$$r = a t_{\Sigma} - r_o' - \text{линия соответствия},$$

$$a = \frac{1}{\frac{N(T_{\alpha} - T_{\beta})}{2} - \frac{\sigma^2}{T_{\alpha} - T_{\beta}} \ln \frac{F_o\left(\frac{T_{\beta}\sqrt{N}}{\sigma}\right)}{F_o\left(\frac{T_{\alpha}\sqrt{N}}{\sigma}\right)}};$$

где

$$r_o = a \frac{\sigma^2}{T_{\alpha} - T_{\beta}} \ln \frac{1 - \beta}{\alpha};$$

$$r'_o = a \frac{\sigma^2}{T_\alpha - T_\beta} \ln \frac{1-\alpha}{\beta};$$

$$t_o = \frac{\sigma^2}{T_\beta - T_\alpha} \ln \frac{\beta}{1-\alpha}.$$

Усечение испытаний по числу отказов следует проводить по методу одноступенчатого контроля, по суммарной наработке – $t_{yc} = r_{yc}/a$.

Ожидаемую суммарную наработку до принятия решения при $T_{cp} = T_\alpha$ определяют по формуле

$$t'_\Sigma = r' \left[\frac{U(T_\alpha + T_\beta)}{2} - \frac{\sigma^2}{T_\alpha - T_\beta} \ln \frac{F_o\left(\frac{T_\alpha \sqrt{N}}{\sigma}\right)}{F_o\left(\frac{T_\beta \sqrt{N}}{\sigma}\right)} \right] + \frac{\sigma^2}{T_\alpha - T_\beta} \ln \frac{\alpha}{1-\beta},$$

где $r' = \frac{(1-\alpha)\left(\ln \frac{1-\alpha}{\beta} - \ln \frac{\alpha}{1-\beta}\right) + \ln \frac{\alpha}{1-\beta}}{\frac{N(T_\alpha - T_\beta)^2}{2\sigma^2} - \ln \frac{F_o\left(\frac{T_\beta \sqrt{N}}{\sigma}\right)}{F_o\left(\frac{T_\alpha \sqrt{N}}{\sigma}\right)}}$ – ожидаемое число отказов до принятия

решения

Задаваясь продолжительностью испытаний $T_\alpha < t_u \leq t_\Sigma$ и полагая, что все образцы испытываются одновременно, а отказавшие заменяются (или полностью восстанавливаются), необходимое количество образцов определяют по формуле $N = t'_\Sigma / t_u$.

Если отказавшие изделия не заменяются и не восстанавливаются, число образцов для достижения той же суммарной наработки при той же продолжительности испытаний следует увеличить до значения:

$$N = t'_\Sigma \left(\frac{1}{t_u} + \frac{1}{T_\alpha} \right).$$

Испытания проводят до пересечения с одной из линий несоответствия (или соответствия), причем возможна постановка на испытания дополнительных образцов для достижения суммарной наработки.

Логарифмически нормальное распределение. Параметры плана контроля определяют как при нормальном распределении с заменой наработки на логарифм наработки.

Диффузионное распределение. Исходные данные для планирования испытаний включают перечень данных по экспоненциальному распределению и дополнительно ожидаемое значение коэффициента вариации.

Данные о применяемости испытаний на надежность приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 – Применяемость испытаний на надежность.

Контролируемое свойство надёжности	Виды испытаний					
	предварительные	приёмочные	квалификационные	приёмосдаточные	периодические	типовые
Безотказность	+	+	+	+	+	+
Ремонтопригодность	+	+	+	-	+	+
Долговечность	+	+	-	-	+	+

Примечание: + - проводят нормальные или ускоренные испытания;
 +* - проводят нормальные;
 - - не проводят;
 +** - проводят ускоренные.

6 Эксплуатационные испытания

Погрешности при оценке показателей надёжности объектов в результате эксплуатационных испытаний возникают вследствие следующих причин:

1. Ограниченность объекта выборки (статистическая погрешность);
2. Потери информации об отказах (систематическая погрешность).

Вид погрешности связан с методом получения информации о надёжности.

Первоначально проводится планирование испытания.

Цель планирования - определение требуемого объема наблюдений для получения оценок показателей надёжности с заданной точностью и достоверностью.

Полные испытания: под наблюдением находится N - изделий и испытания проводятся до исчерпания ресурса всеми изделиями. Нарботки, при которых изделия исчерпывают ресурс составляют полную выработку t_1, t_2, \dots, t_N (рисунок 7.3а).

Усеченные испытания: под наблюдением находится N - изделий и испытания проводятся до заранее заданной наработки T , одинаковой для всех изделий; при этом только часть изделий исчерпывает ресурс при наработках t_1, t_2, \dots, t_n , а остальные $N - n$ изделий, не исчерпавших ресурс, снимаются с испытаний при наработке T (рисунок 7.3б).

Многократно усеченные испытания: под наблюдением находится N - изделий, из которых одна часть исчерпывает ресурс при наработках t_1, t_2, \dots, t_n , а другая снимается с испытаний до исчерпания ресурса при наработках T_1, T_2, \dots, T_{N-n} (рисунок 7.3в).



Рисунок 7.3а

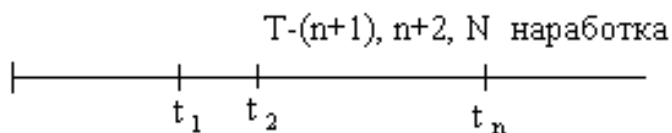


Рисунок 7.3б

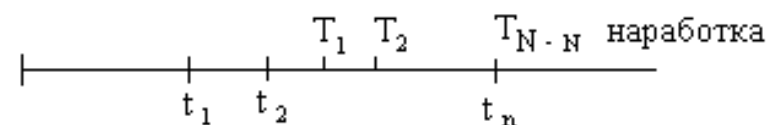


Рисунок 7.3в

Показатели надежности, устанавливаемые по выборочным данным, являются величинами случайными и располагающимися в определенных интервалах, зависящих от рассеивания показателей надежности и количества объектов в выборке.

Мерой точности показателя при заданной доверительной вероятности являются возможная наибольшая абсолютная ошибка - наибольшая величина отклонения доверительных границ от среднего значения показателя:

$$\bar{P} - P_{\max}$$

Относительная ошибка δ , определяемая по формуле

$$\delta = \frac{\bar{P} - P_{\max}}{\bar{P}}$$

Между точностью и достоверностью оценки показателей существует тесная связь. При неизменном количестве наблюдений о повышении точности (уменьшении относительной ошибки) неизбежно снижается достоверность. Для повышения точности определения показателей при заданной доверительной вероятности необходимо увеличить объем наблюдений, что соответственно ведет к повышению затрат.

Точность оценок показателей надежности и, следовательно, планирование наблюдений зависит от вида распределения показателей.

По ГОСТ 16504-81 предусмотрено пять планов наблюдений за N объектами условно обозначаемых: NUN, NUT, NUr, NRT, NRr.

Для первых трех планов отказавшие объекты не восстанавливают и новыми не заменяют, а наблюдения прекращают при отказе всех N объектов, по истечении времени T и при достижении числа отказавших объектов г. Для планов NRT, NRr отказавшие объекты заменяют новыми или их восстанавли-

вают и наблюдения прекращают по истечении времени T и при достижении числа отказавших объектов $г$.

Вариант 1.

Испытания по первому плану NUN наиболее длительны и не всегда возможны.

Вариант 2.

План NUT позволяет при потере некоторой части информация существенно сократить продолжительность испытаний и получить оценки показателей надежности с приемлемой точностью.

Вариант 3.

План NUг применяют, во первых, когда требования к надежности изделий ограничены определенной наработкой, во вторых когда надежность изучается применительно к определенному периоду эксплуатации (например 5 тыс.м.ч.).

Вариант 4.

Планы NRT и NRг применим/при изучении показателей безотказности, выявления номенклатуры отказов, проверки показателей безотказности установленным нормам.

Особенности эксплуатационных испытаний

Погрешности при оценке показателей надежности объектов в результате эксплуатационных испытаний возникают вследствие следующих причин:

- 1) ограниченности объема выборки (статистическая погрешность).
- 2) потери информации об отказах (систематическая погрешность). Эксплуатационные испытания подразделяются:

1) испытания на отказ (с целью определения наработки на отказ);

2) испытания по параметру состояния (изменение некоторого параметра во времени - износ, зазор, температура и т.п.);

3) испытания по параметру нагруженности (фиксируют действующие нагрузки по времени работы).

8 КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. Виды и методы контроля.
2. Организация и контроль качества на отдельных стадиях ремонта.
3. Порядок оценки эффективности сложных технических систем.
4. Методы обеспечения безопасности работы систем.
5. Концепция ТК 119 Госстандарта Российской Федерации в области надёжности

1 Виды и методы контроля

Комплексная система управления качеством продукции на ремонтных предприятиях предусматривает совокупность мероприятий, методов и средств, направленных на установление, обеспечение и поддержание необходимого уровня качества ремонта изделий.

Комплексная система управления качеством должна обеспечивать эффективное использование передовых форм и методов организации ремонтного производства и его элементов, а также способствовать совершенствованию организационной структуры управления.

Основные мероприятия при разработке комплексной системы управления качеством ремонта изделий следующие:

1. Объективная оценка состояния ремонтного фонда;
2. Проектирование, внедрение и освоение передовых технологий;
3. Поддержание стабильного уровня качества;
4. Обеспечение трудовой и технологической дисциплины;
5. Повышение эффективности за счет сокращения потерь от брака и устранения рекламаций;
6. Организация и совершенствование сбора, анализ и использование информации о качестве ремонта изделий;
7. Повышение квалификации и организация обучения рабочих и ИТР прогрессивным формам и методам улучшения качества ремонтной продукции;
8. Совершенствование форм и методов материального и морального стимулирования труда;
9. Усиление ответственности за изготовление и выпуск недоброкачественной ремонтной продукции;
10. Управление качеством ремонта (это часть управления производством, проводится органами управления ремонтного предприятия).

Комплексная система управления качеством включает следующие направления: организационное, техническое, технологическое, экономическое, информационное, социальное.

Критерии определены из специальной литературы по данному вопросу.

1. Критерии организационного уровня предприятия:
- размер предприятия;

- специализация производства;
 - уровень механизации;
 - использование производственных мощностей;
 - интенсивность загрузки оборудования.
2. Критерии технического уровня предприятия:
- структура основных производственных фондов;
 - техническая вооруженность труда;
 - фондоемкость технологических процессов;
 - прогрессивность оборудования;
 - возрастной состав оборудования;
 - автоматизация и роботизация производства;
 - степень физического износа оборудования;
 - степень морального износа оборудования;
 - обновление оборудования.
3. Критерии технологического уровня предприятия:
- технологическая оснащенность;
 - прогрессивность технологии;
 - прогрессивность оснастки;
 - технологическая площадь.
4. Критерии экономического уровня предприятия:
- производительность труда;
 - фондоотдача;
 - рентабельность предприятия;
 - себестоимость ремонта единицы продукции;
 - использование площадей.

Приведенные критерии могут быть уточнены экспертами. Для оценки же предприятия технического сервиса критерием, безусловно, является его способность удовлетворять потребителей. Для объективной оценки организационно-технического уровня предприятия наиболее целесообразно иметь 20...25 критериев.

Цель технического контроля – обеспечение проведения ремонта машин в соответствии с установленными техническими условиями, предупреждение брака, недопущение выпуска недоброкачественной продукции. Качество ремонта машин определяется техническими условиями, любое отклонение от которых приводит к производственному браку. В зависимости от характера отклонения от установленных требований, технических условий производственный брак подразделяется на три вида: окончательный, исправимый, условный.

Брак окончательный имеет место при значительных отклонениях от технических условий, когда изделие не поддается исправлению, например трещина в кольцах подшипников качения, возникшая в результате неправильного монтажа.

Брак исправимый возможен при таких отклонениях от технических условий, при которых изделие может быть исправлено, например шлифовка шеек коленчатых валов под следующий ремонтный размер.

Брак условный – брак, вызванный незначительными отклонениями от технических условий. При этом изделие может находиться в работе с некоторым снижением его технического ресурса, например применение несоответствующих красок.

Производственный брак приводит к убыткам и дезорганизации производства. Убытки от брака окончательного определяются стоимостью изделия, от брака исправимого – стоимостью дополнительных операций и сокращением технического ресурса изделия.

Причины, вызывающие брак, разделяются на прямые и косвенные. К прямым причинам относятся ошибки в чертежах, применение несоответствующего материала, плохая вентиляция и т.п. Для предупреждения и выявления брака осуществляют следующий технический контроль:

- контроль за поступающими на предприятие запасными частями, материалами;
- контроль за состоянием технического оборудования, приспособлений, режущего и измерительного инструмента;
- контроль за выполнением отдельными рабочими требований технологического процесса;
- выявление и предупреждение брака, выяснение причин его возникновения.

В зависимости от производственных взаимоотношений между контролером и начальником производственного участка различают три системы технического контроля: зависимую, полузависимую, независимую.

При зависимой системе контроля контролеры подчиняются непосредственно начальнику производственного участка, отделения. Такая система практикуется на ремонтных заводах. Она не позволяет достаточно объективно контролировать выпускаемую продукцию, поэтому используется как цеховой или внутренний контроль.

Полузависимая система контроля предусматривает подчинение контролера непосредственно руководителю предприятия, но назначение его и освобождение от работы осуществляет вышестоящая организация. Например, инженер по техническому контролю подчиняется управляющему районным объединением и назначается областным производственным объединением.

Независимая система контроля характеризуется тем, что контролер подчинен вышестоящей организации, а не руководству ремонтным предприятием. Такая система контроля является наиболее объективной. В условиях ремонтного производства могут быть технические инспекции, периодически направляемые на ремонтные предприятия вышестоящими организациями.

Виды контроля устанавливаются в зависимости от организации работы на предприятии и требований к качеству продукции.

По охвату операций различают контроль пооперационный, при котором изделия проверяют после каждой операции; групповой, когда изделия проверяют после нескольких операций; окончательный, которому подвергаются все изделия с целью установления их соответствия требованиям, стандарту или техническим условиям.

По охвату проверяемых изделий различают контроль выборочный и сплошной. Выборочный контроль, при котором проверяются отдельные изделия из партии, осуществляется на ремонтных предприятиях при приемке запасных частей и материалов на склад, получении отремонтированных по кооперации агрегатов.

При сплошном контроле проверяют все без исключения детали или агрегаты; он осуществляется при дефектации деталей, при испытании ответственных агрегатов, таких как двигатель, топливный насос и т.п.

Различают также периодический, летучий и целевой контроль. Периодический контроль проводится через определенный промежуток времени для различных операций технологического процесса ремонта: разборки, мойки и т.д.

Летучий контроль проводится выборочно как по отдельным операциям, так и по отдельным деталям и агрегатам, по усмотрению инженера по техническому контролю.

Целевой контроль проводится, как правило, для выявления причин значительного брака, обнаруженного на отдельных участках.

На ремонтных предприятиях применяются следующие методы контроля качества изделий: внешний осмотр, проверка геометрических параметров, проверка отдельных свойств, испытания.

Внешним осмотром устанавливаются: комплектность агрегатов, машин, видимые невооруженным глазом трещины или изломы, срывы резьбы. К этому же методу относят проверку на ощупь, на слух, с помощью ударов молотка.

Для проверки геометрических параметров проводится контроль линейных и угловых размеров, отклонений формы, расположения поверхностей при помощи измерительных инструментов и приборов.

При проверке отдельных свойств определяются твердость, упругость, герметичность и т.д.

Испытанию подвергаются ответственные детали и агрегаты (головки цилиндров, блоки, топливные насосы, двигатели и др.).

Поступающие на ремонтные предприятия запасные части контролируются с целью выявления их соответствия техническим условиям.

При приемке проверяются основные свойства получаемых материалов, например у металлов – химические и механические свойства, твердость.

Машины и агрегаты, поступающие в ремонт, подвергаются наружному осмотру для установления их комплектности.

Окончательно состояние машины определяется после разборки и выявления дефектов.

Дефектация деталей для выяснения пригодности их к дальнейшему использованию или восстановлению производится с помощью универсальных средств измерения и калибров.

2 Организация и контроль качества на отдельных стадиях ремонта

Поступающие для ремонта запасные детали контролируются с целью выявления соответствия их техническим условиям. Проверяются размеры, масса, твердость, качество поверхности, упругость и другие параметры в зависимости от требований, предъявляемых к данной партии.

Поступающие на ремонт объекты – машины и агрегаты – подвергают наружному осмотру. При этом главное внимание обращается на комплектность поступающих машин или агрегатов и состояние базисных и наиболее дорогих деталей. Имеются технические условия на приемку тракторов и сельскохозяйственной техники в ремонт.

Контроль наружной очистки и мойки машин проводят наружным осмотром.

При разборке машин контролируют последовательность разборки, правильность маркировки необезличенных деталей.

Качество мойки деталей определяют наружным осмотром.

В дефектовочном отделении контролируют детали и узлы с целью выяснения пригодности их к дальнейшему использованию без восстановления и ремонта, необходимости восстановления или замены. Результаты дефектовки позволяют окончательно выяснить состояние поступающей в ремонт машины и заполнить ведомость дефектов, по которой можно установить все предстоящие работы по восстановлению деталей и ремонту сборочных единиц машины.

В комплектовочном отделении проводят геометрический контроль деталей, поступающих на сборку.

После каждой сборочной операции или группы операций проводят технический контроль сборочных работ, т.е. проверку соответствия собранных сборочных единиц техническим условиям, указанным в технологических картах сборки.

В отделении окраски проверяют подготовку поверхностей к окраске, процесс окраски, сушку и качество окраски.

Ресурс отремонтированных дизельных двигателей должен составлять по нормативам 80 % ресурса новых. На каждый отремонтированный двигатель должна даваться гарантия на 12 месяцев при гарантийной наработке 1500 мото-часов. Для этого двигатели обкатывают. Они должны развивать номинальную мощность, максимальную частоту вращения холостого хода, обеспечивать давление масла и удельный расход топлива в соответствии с требованиями технической документации на ремонт. Угар картерного масла после эксплуатационной обкатки дизелей в течение десятичасового угарного цикла не должен быть выше показателей новых дизелей более чем на 20 %.

Основная задача технического контроля – предотвращение брака. С этой целью ведется учет бракованных деталей, агрегатов и машин в специальной книге, где указываются: дата, фамилия и должность виновного; номер наряда; наименование бракованной продукции; количество и характер брака; причины, вызвавшие его; убыток; принятые меры.

Заполняется книга на основании извещения о браке, которое составляет контролер в трех экземплярах и направляет в отдел или группу технического контроля для учета и анализа, в бухгалтерию для калькуляции и удержания издержек с виновных за допущенный брак и начальнику цеха или отделения для принятия мер к устранению брака.

Также должны строго учитываться все акты-рекламации. Рекламации записываются в специальном журнале, где отмечаются: дата и номер их поступления; адрес и наименование организации, предъявившей рекламацию; марка машины или агрегата, на который поступила рекламация; причины рекламации; наработка или пробег до проявления дефектов; результаты проверки рекламации; мероприятия по устранению условий, вызвавших рекламацию. Основными документами являются ведомости дефектов, сметная калькуляция на работы, журнал испытаний и контрольного осмотра двигателя, обкаточный лист трактора, акт-паспорт на двигатель, паспорт на топливный насос, акт приемки в ремонт.

Ведомость дефектов составляется при дефектации деталей после разборки. Начальная часть ведомости содержит данные о машине: наименование хозяйства; наименование и модель машины; номер машины (заводской и хозяйственный); вид последнего ремонта, выработка после него; вид ремонта, к которому отнесена машина, и т.д.

Во вторую часть заносят данные о деталях, имеющих дефекты.

В третью часть ведомости заносят сведения о ремонтных и монтажных работах, нормах, расценках и их общей стоимости. Четвертая часть ведомости содержит перечень расходуемых ремонтных материалов и их стоимость. В пятой части дается сводная таблица затрат и определяется общая стоимость ремонта данной машины. После утверждения руководителем хозяйства ведомость служит основанием для получения со склада запасных частей, материалов для выполнения ремонтных работ.

В журнал испытания и контрольного осмотра двигателей заносят данные, полученные при испытаниях (мощность, расход топлива, минимальную частоту вращения на холостом ходу), данные о неисправностях, обнаруженных при испытаниях и контрольном осмотре, делают отметки об устранении этих неисправностей.

Обкаточный лист содержит общие данные о тракторе или другой машине (номер машины, вид ремонта), сведения о неисправностях, обнаруженных при обкатке, и их устранении.

Акты-паспорта и паспорта на двигатель, топливный насос и другие агрегаты приходят в мастерские хозяйств вместе с агрегатами из тех специализиро-

ванных ремонтных предприятий, где проводился ремонт. Эти документы содержат данные, полученные при испытании агрегатов после ремонта. Все перечисленные документы подписывают лица, ответственные за контроль качества ремонта – начальник отдела технического контроля, инженер по техническому контролю и др.

Помимо этого, контролер ведет учет актов, поступивших от заказчика, на дефекты, обнаруженные в отремонтированной машине (акты-рекламации), а также учет бракованной продукции ремонтного предприятия.

С целью обеспечения качества ремонта техники и восстановления изношенных деталей на ремонтно-обслуживающих предприятиях возможна разработка комплексной системы управления качеством ремонта, которая предусматривает установление, обеспечение и поддержание необходимого уровня качества ремонта при разработке документации на техническое обслуживание и эксплуатацию техники. По существующему положению ответственность за качество продукции несут руководитель предприятия и главный инженер. Конкретное выполнение работ по техническому контролю на крупных ремонтных предприятиях осуществляется отделами, на более мелких предприятиях – группами технического контроля.

В ремонтных мастерских областных отделений или районных объединений контроль качества ремонта машин осуществляет инженер по техническому контролю. В мастерских хозяйств, там, где нет инженера-контролера, контроль качества ремонта машин возлагается на опытного механика или заведующего мастерской.

Отремонтированные машины выдаются заказчику только после приемки их лицами, ответственными за технический контроль. Без этого работы по ремонту и техническому обслуживанию машин считаются незавершенными.

В круг обязанностей отделов, групп и инженеров по техническому контролю входит следующее:

- проверять качество отремонтированных машин, в случае недоброкачественного ремонта выявлять причины появления брака и требовать немедленного устранения этих причин;
- следить за правильным и своевременным заполнением технических паспортов на отремонтированные машины;
- проверять детали, признанные годными к постановке на машину, а также выбракованные;
- принимать участие в приемке в ремонт и выдаче отремонтированных машин и агрегатов, подписывать соответствующие акты только при условии соблюдения государственных стандартов и технических условий на ремонт;
- проверять качество поступающего на предприятие оборудования, запасных частей и ремонтных материалов;
- систематически следить за состоянием оборудования и участвовать в рассмотрении рекламаций.

Одной из форм повышения качества продукции является внедрение на ремонтных предприятиях системы бездефектного изготовления и ремонта продукции. При такой системе рабочие и мастера должны предъявлять продукцию работникам технического контроля только после того, как они сами проверили ее качество и убедились в том, что она полностью соответствует техническим условиям.

3 Порядок оценки эффективности сложных технических систем

Под *эффективностью функционирования сложных технических систем* понимают некоторую количественную характеристику качества и объёма выполняемой технической системой работы.

Например, эффективность функционирования системы массового обслуживания характеризуется средним числом обслуживаемых требований (в случае отказов системы и потерь из-за нехватки мест ожидания), средним временем ожидания до окончания обслуживания и т.п.

Эффективность функционирования информационных систем может характеризоваться объемом и достоверностью переданной информации. Система энергетики часто характеризуется дополнительной характеристикой, ущербом потребителя от недоотпуска топлива или электроэнергии.

В дальнейшем под эффективностью будем понимать некоторую количественную меру выходного эффекта системы.

При этом понимается, что чем эффективнее система, тем выше её показатель эффективности.

Выбор соответствующего показателя эффективности функционирования в каждом конкретном случае определяется типом системы, её назначением, видом выполняемой задачи, характером различных внешних условий и другими факторами.

Можно оценивать эффективность функционирования систем двух типов: длительного и кратковременного действия.

Система длительного действия выполняет некоторую требуемую от неё задачу в течение интервала времени длительностью t , начиная с некоторого t_0 . Эффективность функционирования такой системы зависит от конкретной реализации процесса изменения состояния системы в течение этого периода.

Система кратковременного действия выполняет задачи, продолжительность решения которых t . Такова, что за это время система наверняка остаётся в одном и том же состоянии.

Каждая конкретная реализация процесса перехода системы длительного действия из состояния в состояние может быть также охарактеризована вполне определенным условным показателем эффективности функционирования.

Порядок расчета эффективности сложных систем кратковременного действия заключается в следующем:

1. Определяется назначение системы.
2. Формулируются задачи и условия работы системы.

3. Оценивается ожидаемая частота повторений данных задач и условий работы.

4. Выбирается наиболее подходящая в данном случае количественная мера качества функционирования системы.

5. Вычисляются показатели надёжности отдельных элементов системы.

6. Вычисляется вероятность состояний системы на основании показателей надёжности отдельных элементов.

7. Оценивается коэффициент эффективности состояний системы.

Оценка эффективности функционирования сложных систем на практике часто вызывает много затруднений в связи с большой трудоёмкостью расчетов из-за необходимости анализа большого числа состояний.

Поэтому часто прибегают к упрощению расчетов, и одним из таких методов является метод декомпозиции.

Рассмотрим некоторые простейшие методы декомпозиции систем, существенным образом использующие свойства этих систем в соответствующих частных случаях.

4 Методы обеспечения безопасности работы систем

Принято, что время появления отказов оборудования подчиняется экспоненциальному закону и может быть описано формулой:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t},$$

Так, что условия вероятности отказа в интервале $t, t+dt$ равны λdt .

Будем считать, что основной процент неисправностей устраняется за короткое время, в то время, как детали, отказывающиеся весьма редко, требуют длительного ремонта. Поэтому предположим, что распределение времени ремонта можно представить в виде $\sigma(t) = 1 - e^{-\mu t}$, и аналогично вероятность завершения ремонта в интервале $t, t+dt$ при условии, что в момент t ремонт ещё продолжался, равна μdt .

При такой постановке проблемы нам необходимо составить дифференциальные уравнения, которые описывают возможности прямых и обратных периодов системы из одного состояния в другое.

Ранее для необслуживаемых систем рассматривались только прямые переходы, так как система никакими способами не могла вернуть в покинутое её состояние. Теперь же предполагается, что возникающий отказ оборудования немедленно обнаруживается и начинается ремонт. И если время до отказа и время ремонта представляют независимые случайные величины, распределенные каждая по экспоненциальному закону, то подобный подход приводит к марковскому процессу, называемому процессом «гибели и размножения».

Для необслуживаемых систем рассматривались два критерия качества:

1) Функция надёжности, которая определяется вероятностью безотказной работы к некоторому моменту времени t (т. е. переход в поглощающее состояние не происходит до момента t);

2) Среднее время, которое необходимо до первого попадания в поглощающее состояние (состояние отказа системы), или, как его называют, среднее время до первого отказа.

Для обслуживания систем обычно представляют интерес два других критерия:

1) Время, в течение которого система находится в исправном состоянии, или в состоянии готовности;

2) Среднее время возвращения.

В этом случае это время возвращения системы в исправное состояние из состояния отказа. Иногда его называют средним временем одного вынужденного простоя.

Важность среднего времени возвращения ясна, так как готовность учитывает только общее время, проведенное системой в исправном состоянии, и не указывает, как это время распределено. Например, за 10000 часов система может один раз выйти из строя на 10 часов, в то же время эта система может отказать десять раз за тот же период, простаивая каждый раз в течение часа, что также дает коэффициент готовности 0,999.

Необходимо различать понятия статистического среднего и установившегося состояния (или состояния статистического равновесия).

Для простоты рассмотрим один образец оборудования, который должен работать непрерывно. Если производить регистрацию времени работы и времени простоя оборудования в течение некоторого периода, то можно определить его готовность как некоторую случайную величину, характеризующуюся функцией распределения.

Ожидаемое значение готовности равно среднему по всем возможным значениям этой случайной величины.

Когда говорят о готовности оборудования в установившемся режиме, то имеют в виду поведение совокупности одинаковых образцов оборудования.

Если имеется большое число образцов N , проработавших некоторое время, то в любое время ожидаемое число образцов, находящихся в состоянии 0 (состояние готовности), должно быть равно NP . Таким образом, отношение числа образцов оборудования, готовых к действию, к общему числу можно представить в виде:

$$N\gamma_0 / N = P_0$$

Когда рассматривают установившийся режим, то существование пределов, т. е. распределение вероятностей состояний в установившемся режиме будет поддерживаться идеально для бесконечно большой совокупности.

Марковская модель не учитывает флуктуаций поведения отдельных образцов оборудования.

Например, если определённый образец отказывает в среднем через каждые 100 ч работы и ремонтируется в течение часа, то коэффициент готовности

$P_0 = 100/101$. Однако временная область возможных отказов оборудования составляет полуинтервал $(0; \infty)$.

Таким образом, коэффициент готовности $100/101$ ничего не говорит нам о флуктуациях готовности отдельных образцов, и лишь показывает, что в бесконечно большой совокупности образцов оборудования на каждый образец, который никогда не отказывает, имеется такой образец, который отказывает в момент использования.

5 Концепция ТК 119 Госстандарта Российской Федерации в области надёжности

Созданный в 1920 году технический комитет ТК 119 «Надёжность в технике» Госстандарта Российской Федерации (ТК 119) проводит работы по государственной и международной стандартизации общетехнических аспектов надёжности и разработки системы стандартов с одноименным названием (стандарты группы 27). Концепция определяет техническую политику государственной стандартизации в области надёжности с учетом международного опыта и национальных интересов.

Основные нормативные документы:

1. Законы РФ «О стандартизации», «О защите прав потребителей», «О сертификации».

2. Стандарты Государственной системы стандартизации.

Основные положения.

Целями стандартизации в области надёжности техники являются:

1. Развитие и активизация в области нормативной базы для регулирования взаимодействия заинтересованных сторон (разработчика, изготовителя, поставщика, потребителя, заказчика) при обеспечении надёжности на всех стадиях жизненного цикла изделий.

2. Регламентация методов решения типовых задач надёжности как основы для разработки соответствующих правил, методик, процедур и т. п., применяемых при издании, испытании и эксплуатации конкретных изделий.

3. Обеспечение уровня надёжности изделий, требования к которым устанавливают государственные органы.

К последним отнесены (в концепции) изделия, недостаточная надёжность которых может представлять угрозу жизни и здоровью людей, приводить к отрицательным экологическим последствиям и/или большому экономическому ущербу.

Стандартизация в области надёжности носит комплексный характер и взаимосвязана со стандартизацией по безопасности, живучести, технической диагностике, применению статистических и других методов.

В то же время стандартизация в области надёжности должна рассматриваться как составная часть общей проблематики стандартизации управления качеством. Стандартизация в области надёжности осуществляется с учетом зарубежной интеграции международных и национальных стандартов, а также

интеграции со стандартизацией в области отказобезопасности и эксплуатационных (потребительских) свойств техники.

Уровни обобщения. Проблематика надёжности реализуется на трёх уровнях обобщения регламентируемых положений в соответствии с уровнями укрупнения техники.

Первый уровень – общетехнические стандарты, распространяющиеся на технику в целом или большинстве её видов.

Второй уровень - стандарты на укрупненные группы однородных изделий (однородной продукции).

Третий уровень – стандарты на группы однородной продукции или изделия конкретных видов, в которых отражают специфику надёжности или вида изделия.

9 СНАБЖЕНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

1. Гарантийный метод снабжения запасными частями.
2. Информационное обеспечение инженерно-технической службы по снабжению запасными частями.
3. Компьютеризация технического сервиса.
4. Производство и обеспечение потребителей запасными частями.
5. Входной контроль качества запасных частей.
6. Методы статистического контроля качества запасных частей.

1 Гарантийный метод снабжения запасными частями

Сущность метода гарантийного снабжения запасными частями заключается в концентрации подавляющей массы деталей на базах снабжения, сохранении на складах хозяйств-потребителей ограниченной номенклатуры запасных частей для эксплуатационных нужд, внедрении четкого номенклатурного учета движения этих деталей и диспетчерской связи хозяйств с базой снабжения, централизованной доставке транспортом базы запасных частей в хозяйства по их заявкам с обменом доставленных деталей на изношенные. Главным в этом методе поставки является, как мы видим, улучшение использования ресурсов деталей путем концентрации их запасов и эффективного маневрирования ими.

Для внедрения данного метода поставки запасных частей, необходимо применить номенклатурный учет движения деталей на складах, упорядочить складское хозяйство, в частности, установить типовые стеллажи с ячейками для хранения отдельно каждого наименования деталей. Все детали должны быть сконцентрированы на центральных складах хозяйств. Необходимо внедрение диспетчерской радио- и телефонной связи складов запасных частей с базами снабжения.

Необходимо наличие в областной конторе снабжения диспетчерской службы, основная задача которой - учет текущей потребности хозяйств в деталях. Должен вестись журнал учета неудовлетворенного спроса на запасные части, в котором отражаются заказы на детали, дата и время приема заказа и его исполнения.

Областная контора снабжения при методе гарантийного снабжения ежегодно получает фонды деталей так называемой особо учитываемой номенклатуры, куда входит около 600 наименований наиболее ходовых и дефицитных запасных частей. Все остальные виды деталей сконцентрированы на республиканской и специализированных базах и поступают в областную контору по ее разовым заявкам, что предотвращает образование на ее базе остатков неходовых деталей и существенно повышает возможности для маневрирования ресурсами деталей в целом по области. Со всеми хозяйствами области необходимо установить диспетчерскую радиосвязь. Такая связь позволяет в любой момент принять заявку хозяйства на необходимую ему деталь. Доставка деталей в хо-

заявляемых производится автотранспортом областной базы снабжения кольцевыми маршрутами не реже 2-х раз в неделю. В каждый заезд автомашины кольцевого маршрута хозяйство передает шоферу-экспедитору заявку на завоз деталей в следующую езду. В случае возникновения срочной потребности в той или иной детали хозяйство заказывает ее по радиотелефону диспетчеру базы, который направляет эту деталь в хозяйство специальной автомашиной для экстренной доставки запасных частей.

Таким образом, вся доставка запасных частей в хозяйства осуществляется по их заявкам централизованно автотранспортом базы снабжения и хозяйства освобождены от функций поиска деталей и их доставки.

Важным принципом системы гарантийного снабжения потребителей запасными частями является отпуск большинства деталей только в обмен на изношенные и снятые хозяйствами с тракторов, комбайнов, автомобилей. Это вносит строгий порядок в отпуск деталей потребителям, способствует их экономному расходованию, предотвращает оседание деталей в излишних запасах на складах деталей. Кроме того, сдача изношенных деталей создает надежный источник ресурсов для массовой реставрации, что в свою очередь помогает решить проблему дефицитности многих запасных частей.

В целях дальнейшего совершенствования организации гарантийного снабжения сельскохозяйственных предприятий запасными частями необходимо внедрить нормативы запасов эксплуатационной номенклатуры деталей в хозяйствах и особо учитываемой их номенклатуры на базах снабжения, обеспечить их оперативное пополнение по мере расхода запасных частей, существенно повысить роль диспетчерской службы в управлении запасами всех уровней, широко применяя для этих целей ЭВМ.

В качестве примера системы обеспечения запасными частями и новой техникой можно привести снабженческо-сбытовую систему "Агротехника", подчиненную Министерству машиностроения Германии. Система "Агротехника" является посредником между предприятиями тракторного и сельскохозяйственного машиностроения и сельским хозяйством. Она осуществляет выявление потребности кооперативов, народных имений и их объединений в технике и запасных частях, участвует в их распределении по округам и районам, организует прикрепление заводов-поставщиков к своим базам и хозяйствам, поставку техники и запасных частей и расчеты за нее.

При распределении запасных частей учитываются два основных направления их использования: на капитальный ремонт техники в ремонтных предприятиях и обеспечение потребности в деталях для текущего ремонта и технического ухода в хозяйствах в период сельскохозяйственных кампаний - сева и уборки.

При составлении плана поставки распределения деталей на всех уровнях планирования (республика, округ, район) дифференцируется план поставки деталей по этим двум направлениям. К началу сельскохозяйственных кампаний в хозяйствах создается 12-дневный запас деталей для текущего ремонта и тех-

ухода, а в ремонтных предприятиях - в среднем 30-дневный запас запасных частей. Основная масса запасных частей находится на складах окружных комбинатов "Агротехника", откуда по мере необходимости детали поступают в районы. Такая концентрация запасов позволяет системе "Агротехника" в любой момент удовлетворить потребность в той или иной детали как в ремонтных предприятиях, так и в хозяйствах.

Головной комбинат сбытовой системы "Агротехника" заключает договоры на поставку деталей с заводами министерства машиностроения и по импорту из зарубежных стран. Запасные части поступают в согласованные сроки на склады окружных комбинатов "Агротехника", которые по мере надобности направляют их в районы.

Наряду с общими вопросами подготовки техники усилия инженерных служб в большей степени должны быть направлены на активизацию работ по созданию дилерских центров, сбору изношенных деталей и их восстановлению, на организацию контроля качества поставляемой селу техники и запасных частей, в том числе и отремонтированных на предприятиях «Агропромтехники» и ремонтных заводах, координацию разобщенных сегодня сервисных служб. Эту работу целесообразно проводить в рамках заключенного Минсельхозпродом соглашений о сотрудничестве с корпорацией "Агропромсервис" и АО "Росагроснаб".

Назрела необходимость более активно приступить к организации сети дилерских пунктов для обеспечения производственного сервиса, как это делается в зарубежных странах. Это приблизит продукцию заводов к сельхозтоваропроизводителям, улучшит маркетинговую службу предприятия, сократит число посредников и, следовательно, наценки на стоимость машины, повысит ответственность за качество оказываемых услуг. Дилер войдет в систему информационно-консультационного обеспечения участков инженерно-технической сферы, станет активным организатором обучения непосредственно на заводе механизаторских и инженерных кадров по эксплуатации новой техники.

Инженерной службе необходимо направить свои силы на решение следующих основных проблем:

- пополнение и сохранение имеющегося парка машин,
- создание эффективной дилерской службы;
- организацию сети МТС;
- создание регионального машиностроения, ориентация на выпуск техники нового поколения;
- создание оптовых рынков продукции производственно-технического назначения для АПК;
- совершенствование и финансовое оздоровление инженерно-технической сферы АПК;
- организацию информационно-консультационной службы;
- правовое обеспечение инженерно-технической сферы.

Ремонтная база дилеров создается исходя из выполняемых ими функций и возможного объема продажи и ремонта техники. Например, дилер, обслуживающий компанию "Массей Фергюсон" в провинции Онтарио около города Брайтон, имеет склад запасных частей, мастерскую площадью 700 м², передвижные средства обслуживания, депо для предпродажного сервиса 20×12 м², площадку с твердым покрытием. Есть картотека пропорциональности расхода запасных частей, на основе которой и анализа фактических затрат делает заявки на заводы-изготовители. С клиентами работает по годовым заявкам, которые уточняются ежемесячно. В мастерской трудятся 6...7 человек, ремонтируют до 1000 тракторов в год, выполняют все работы, за исключением сложных, требующих специализированного обслуживания. Зона обслуживания - 50...60 км. На этой территории 6 тыс. тракторов, 30 тыс. различных сельскохозяйственных машин. Ежегодно продает 60...70 тракторов, 25...30 комбайнов, запасных частей на 200 тыс. долларов. Есть постоянный семимесячный переходящий остаток запасных частей. Услугами дилера пользуется 90% фермерских хозяйств. Ежегодно ремонтируется 25% тракторов, обслуживаются практически все.

2 Информационное обеспечение инженерно-технической службы по снабжению запасными частями

Информационное обеспечение инженерно-технической системы АПК проводится посредством:

- обсуждения федеральных и региональных целевых научно-технических программ развития инженерно-технической системы АПК на соответствующих всероссийских и региональных семинарах;
- реклама новых технических средств производства через средства массовой информации;
- организация выставок новых технических средств производства, технологий производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции;
- предоставления агропромышленным товаропроизводителям информации по вопросам функционирования инженерно-технической системы АПК;
- использования иных средств информационного обеспечения.

Информационное обеспечение инженерно-технической системы АПК организуют специально уполномоченные федеральные органы исполнительной власти, осуществляющие регулирование в инженерно-технической системе АПК.

Функции информационного обеспечения качества продукции предусматривают своевременное обеспечение инженерно-технических и других работников предприятия информационными материалами о надежности отремонтированных изделий с целью разработки и оценки эффективности мероприятий по её повышению.

3 Компьютеризация технического сервиса

Компьютерная революция, охватившая все сферы деловой активности развитых стран Запада в течение последних двух десятилетий, практически сняла все ограничения на объемы и виды хранимой информации. За этот период скорость счета возросла в 150...200 раз, а плотность размещения электронных компонентов в 15000 раз. Одновременно стоимость ЭВМ уменьшилась примерно в 10 раз.

В техническом сервисе компьютеризация в наибольшей степени проникла в область обеспечения потребителей машин запасными частями. В настоящее время все ведущие компании тракторного и сельскохозяйственного машиностроения создали компьютерные системы, обеспечивающие деятельность заводов-изготовителей, центральных и региональных складов запасных частей, специализированных ремонтных предприятий и дилеров на всех континентах, куда поставляется продукция.

Так, центральный накопительный склад запасных частей фирмы "Катерпиллар" в г. Мортоне (штат Иллинойс, США) оснащен компьютерной системой, которая управляет распределением запасных частей, заказывает их у предприятий-смежников, прогнозирует спрос и обеспечивает двухстороннюю связь с 13 основными распределительными центрами, 9 главными складами и более чем 1440 дилерами в 160 странах.

В компьютерную систему компании "Сперри Нью Холланд" включено 2250 дилеров. Прогноз на запасные части составляется центральным компьютером на год, исходя из анализа рыночной информации, статистических данных о расходе деталей за последние 20 лет и субъективных оценок. Прогноз уточняется каждый месяц, после чего вносятся коррективы в заказы по изготовлению запасных частей. Ошибка в прогнозе производства наиболее массовых деталей составляет 5...7%, по деталям низкого спроса она бывает больше. Политика компании заключается в том, чтобы продать дилеру необходимое количество деталей. Нормативы запаса деталей корректируются каждый месяц. Для каждого дилера рассчитывается программа обеспечения запасными частями. Если дилер оформляет заказ в соответствии с этой программой, он получает скидку в размере до 10%. Дилеру периодически высылаются каталоги, в которых отдельные детали помечены специальным знаком, означающим, что по истечении указанного срока деталь обратно приниматься не будет. Все же остальные детали дилер может вернуть на склад в любом количестве по текущей цене. Этим преследуется цель освободить дилера от хранения ненужных запасных частей.

Номенклатура и количество деталей у дилера позволяют ему удовлетворить спрос в зоне своей деятельности с вероятностью 85...90%. В случае отсутствия необходимой детали дилер обращается в региональный центр, а в случае, если ее нет в этом центре, компьютер осуществляет поиск в других таких же центрах или даже на центральном складе. Найдя деталь, компьютер определяет наиболее выгодный маршрут, способ доставки и выписывает счет дилеру. Как

правило, дилер оплачивает транспортные расходы лишь от своего регионального центра. Максимум на следующий день деталь будет доставлена дилеру.

Служба пропаганды и внедрения Министерства сельского хозяйства США (Extension service) прилагает большие усилия к тому, чтобы информационные системы на базе ЭВМ стали доступны каждому фермеру. В настоящее время в США действует общегосударственная система АГНЕТ (Agricultural Network). База данных АГНЕТ постоянно пополняется информацией из отчетов МСХ США, рыночных бюллетеней, материалов учреждений научной пропаганды. О возможностях системы можно судить хотя бы по одному такому факту: пользователь может при желании наблюдать динамику изменения цен на интересующую продукцию через заданные промежутки времени, например через час. К системе за определенную абонентскую плату может подключаться любой клиент, имеющий терминал, модем (модулятор-демодулятор) и телефон. Модем связывает микроЭВМ потребителя информации при помощи телефонного канала с любой ЭВМ этой системы вплоть до большой ЭВМ МСХ США. К настоящему времени в агропромышленном комплексе США не осталось таких видов деятельности, которые осуществляются без участия ЭВМ.

Так, например, у дилеров стало нормой создание внутреннего банка данных по обслуживанию и ремонту машин. Машина, проходя ремонт в мастерской дилера, получает индивидуальный код, в адрес которого в процессе всего периода использования машины заносятся сведения о наработке, операциях по ее ремонту и затратам. Фирмы-изготовители проявляют большую заинтересованность в такого рода информации, служащей мощной обратной связью в работе по повышению конкурентоспособности своей продукции.

Информационно-консультационная служба Рязанской области создана на базе областного и районного управлений сельского хозяйства. Функции организации и координации её деятельности, сбора, распределения информации, внедрения новейших компьютерных технологий возлагается на отдел информационно-консультационного обеспечения областного управления и информационно-консультационные пункты в составе районных управлений. Оперативное консультирование, организацию и проведение семинаров, других учебных мероприятий, ярмарок и выставок обеспечивают специалисты отраслевых отделов этих управлений.

Информационно-консультационная служба способствует установлению нового стиля взаимоотношений органов управления АПК и сельских товаропроизводителей, обеспечению их конструктивного диалога. Кроме того, располагая достоверной информацией о проблемах товаропроизводителей, помогая решать их, данная служба может и должна стать активным проводником государственной политики на селе, помощником органов управления АПК в обеспечении ее формирования.

Введен в действие Web-сервер областной информационно-консультационной службы, разработаны и постоянно пополняются базы данных по промышленным и перерабатывающим предприятиям области, ассорти-

менту производимой ими продукции, племенному делу, а также базы данных системы рыночной информации, оперативной информации о ходе сельскохозяйственных работ. Создается реестр сельскохозяйственных предприятий области, сельскохозяйственной техники и запасных частей, производимых на предприятиях области, организован обмен информацией с районами по электронной почте, что существенно повысило оперативность работы. Для более эффективной работы информационно-консультационной службы области необходимо оснащение современным оборудованием информационно-консультационных пунктов остальных районов области.

После получения техники и обучения персонала обмен информацией между областными и районными органами управления АПК и информационно-консультационными службами будет осуществляться с использованием современных средств коммуникации. Необходимо создание регионального инновационного банка данных.

4 Производство и обеспечение потребителей запасными частями

В практике машиноиспользования стран Запада давно уже стало бесспорным положение в том, что никакие организационные перестройки в управлении техническим сервисом не могут дать ощутимого эффекта, если они не предусматривают полное безусловное удовлетворение спроса на запасные части.

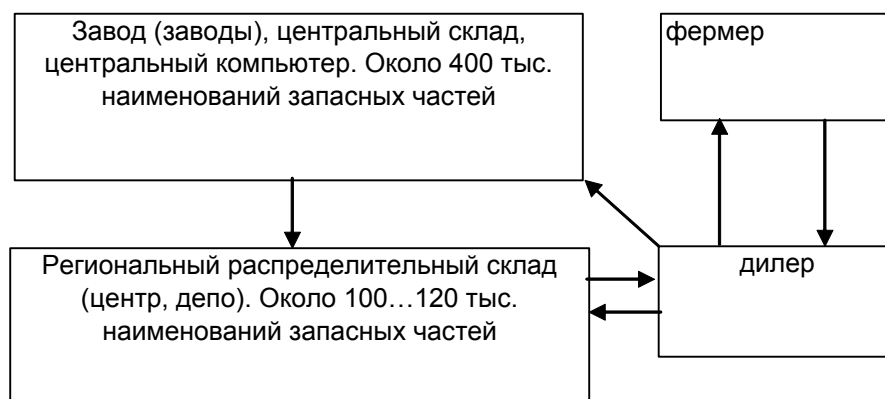
Рассматриваемая проблема состоит из трех относительно самостоятельных частей: планирование потребности в запасных частях, производство и организация их доставки. Планирование производства потребности в запасных частях ведется, главным образом, на статистическом прогнозировании с учетом количества работающих деталей и возраста машин, на которых они устанавливаются. Учитываются также заявки дилеров, однако давно уже практически реализовано понимание того, что исключение всплеск дефицита на отдельные детали возможно только за счет наличия постоянной, широко и основательно поставленной статистической информации о расходе запасных частей, хранимой и перерабатываемой современными техническими средствами. Уже более 20 лет товаропроизводящая сеть всех западных фирм избавлена от всевозможной бумажной документации складского учета.

Производство запасных частей предусматривает создание их запаса на центральных, региональных складах и у дилеров. Нормативы минимального и максимального запаса деталей для последних рассчитываются с учетом обслуживаемого им парка и предоставляются в качестве рекомендаций.

Вся текущая оперативная работа по обеспечению дилеров запасными частями выполняется компьютером центрального склада. Это возможно потому, что дилеры ежедневно передают информацию о расходе. Схема доставки запасных частей, отработанная опытом последних десятилетий, показана на рисунке 9.1.

После обработки поступившей информации компьютер выдает решение о пополнении деталей, запас которых у дилеров достиг минимального норматива.

Причем указываются распределительные склады, с которых наиболее целесообразно пополнить запасы каждого дилера. Фирмы имеют неодинаковую плановую периодичность пополнения запасов дилеров, как правило, эта операция осуществляется не реже одного раза в неделю главным образом при помощи автомобильного транспорта. Однако при срочной заявке дилера детали могут быть доставлены воздушным средством.



9...15 складов
(центров, депо)
у одной фирмы

Рисунок 9.1 - Схема доставки запасных частей в США.

Производство запасных частей для тракторов и сельскохозяйственных машин в США составляет в среднем 25...30% от стоимости выпускаемых машин, а по некоторым машинам достигает 50...60%. Характерным для большинства западных фирм в производстве запасных частей является то, что они выпускают их не только для восстановления работоспособности машин, но и для сохранения надлежащего внешнего вида, комфорта оператора и пр.

5 Входной контроль качества запасных частей

Опыт контроля запасных частей показывает, что значительная их часть имеет отклонения от чертежей и стандартов. Это является одной из причин снижения ресурса отремонтированных машин и заставляет потребителя вводить входной контроль. Входной контроль запасных частей чертежам и техническим условиям - вынужденная мера по обеспечения высокого качества ремонта.

Порядок проведения проверки качества запасных частей, узлов и агрегатов к автомобилям, тракторам. Сельскохозяйственным машинам регламентирован ГОСТ 16768-81.

Если число запасных частей в партии, поступившей на предприятие, менее 100, то они подвергаются сплошному контролю. При поступлении на предприятие более 100 изделий по одному сопроводительному документу входной контроль выполняют статистическим методом по альтернативному признаку.

План контроля каждой детали определяется по следующим показателям: объему контролируемой партии N , приемочному уровню дефектности q_1 , объ-

ему первой выборки n_1 , объему второй выборки n_2 , приемочному числу первой выборки C_1 , приемочному числу второй выборки C_2 . Установлены следующие приемочные уровни дефектности по отдельным параметрам качества деталей:

- по точности обработки 1,0 и 4,0% (таблицу 9.2);
- по параметрам шероховатости 1,0 и 4,0%;
- по физическим параметрам продукции (твердости, упругости, глубине закаленного слоя и т.д.) 4,0%;
- по химическому составу 4,0%;
- по герметичности 1,0%;
- по отклонению от заданной формы и расположению поверхностей 4,0%;
- по другим свойствам 4,0%.

В зависимости от объема партии и приемочного уровня дефектности определяют план контроля, устанавливают объем первой и второй выборок и приемочное число первой и второй выборок.

Порядок проведения входного контроля запасных частей заключается в следующем.

1. По сопроводительному документу изготовителя продукции находят объем поступившей партии деталей.

2. Определяют 1...5. Признаков продукции, по которым будут проводить входной контроль. Допускается контроль по любому признаку продукции.

6 Методы статистического контроля качества запасных частей

Идея статистических методов контроля качества продукции заключается в том, что о генеральных характеристиках испытываемой партии изделий судят по выборочным характеристикам, определяемым по малой выборке из этой партии. В последнее время статистические методы контроля качества продукции получили широкое распространение во многих странах. Статистический контроль качества может проводиться как в процессе производства, так и по окончании производства - при проведении ремонта машин.

Особенно это связано с качеством поступающих запасных частей и необходимостью введения входного контроля на предприятиях технического сервиса.

1. Метод однократной выборки.

При этом методе из контролируемой партии изделий выбирается одна случайная выборка определенного объема. По характеристикам этой выборки принимается решение о том, принять ли данную партию изделий либо забраковать ее (либо направить на сплошной контроль или переделку) [1].

2. Метод двукратной выборки.

При этом методе из контролируемой партии изделий выбирается случайная выборка определенного объема. По характеристикам этой выборки принимается одно из трех решений:

- принять партию;

- забраковать партию;
- произвести еще одну выборку определенного объема из рассматриваемой партии.

По характеристикам первой и второй выборки принимается одно из двух решений: принять или забраковать партию.

3. Метод последовательного контроля.

При этом методе объем испытаний заранее не фиксируется. Из контролируемой партии последовательно (но случайным образом) берутся изделия по одному (или несколько) и определяются их характеристики. По этим характеристикам принимается одно из трех решений:

- 1) принять партию;
- 2) забраковать партию;
- 3) продолжить испытания.

Испытания заканчиваются в случае, когда принимается первое или второе решение.

Ошибки 1 и 2 рода при статистическом контроле.

Из-за случайности выборки возможны ошибки при оценке всей партии изделий по выборочным характеристикам.

Эти ошибки можно разбить на 2 рода следующим образом.

Ошибка 1 рода заключается в том, что испытываемая годная (кондиционная) партия изделий оценивается по результатам выборки как негодная (некондиционная).

Ошибка 2 рода заключается в том, что испытываемая негодная (некондиционная) партия оценивается по результатам выборки как годная (кондиционная).

Ошибкой первого рода называют наибольшую вероятность забраковать партию изделий первой категории. Ошибкой второго рода называют наибольшую вероятность принять партию изделий третьей категории. При таком подходе не интересуются вероятностью приемки (и выбраковки) партий второй категории. Практически это отвечает тому положению, что технология производства изделий обеспечивает их выпуск в основном на уровне первой категории.

Т.о., граница продукции 1 категории устанавливается, исходя из уровня производства. Граница 3 категории обычно устанавливается, исходя из анализа условий применения и целевого назначения рассматриваемых деталей.

Различают два вида статистического контроля качества продукции: непараметрический (по качественному признаку) и параметрический (по количественному признаку).

При непараметрическом контроле все изделия в проверяемой выборке разбиваются на две группы: годные (кондиционные) и негодные (дефектные). В этом случае оценка партии изделий проводится по величине доли дефектных изделий в выборке.

При параметрическом контроле у каждого проверяемого изделия (выборки изделий) определяется один или несколько количественных параметров. В

этом случае оценка партии изделий проводится по статистическим характеристикам распределения определяемых параметров.

Случай контроля доли дефектных изделий.

Рассмотрим случай, когда контролю подвергается партия изделий достаточно большого объема N . Все N изделий, входящих в партию, по некоторому признаку делятся на две группы: кондиционные и дефектные. Пусть число дефектных изделий в партии равно M . Обозначим через S долю дефектных изделий в партии $s = \frac{M}{N}$.

По величине S партия изделий может быть разделена на 3 категории:

$$S \leq S_1, S_1 < S < S_2, S \geq S_2.$$

Величины S_1 и S_2 устанавливаются по соглашению между поставщиком изделий и их потребителем.

При статистическом контроле доли дефектных изделий случайная выборка в n изделий из партии и определяется число m дефектных изделий в выборке.

Тогда доля дефектных изделий в выборке будет $s = \frac{m}{n}$.

Если на контроле были k партий изделий с объемом N_1, N_2, \dots, N_k и на испытаниях получены выборочные доли дефектных изделий s_1, s_2, \dots, s_k , то средняя доля дефектных изделий во всех испытанных партиях находится по уравнению:

$$S_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k N_i s_i}{\sum_{i=1}^k N_i}$$

В случае однократной выборки величины s_i находятся по уравнению

$$s = \frac{m}{n}$$

В случае двукратной выборки используется уравнение

$$s = \frac{m_1 + m_2}{n_1 + n_2}$$

Вероятность приемки партии P по результатам выборочного контроля зависит от доли дефектных изделий в партии s и от плана контроля (план контроля определяет объем и число выборок, их последовательность, приемочные и браковочные числа).

При фиксированном плане контроля существует зависимость $P = P(s)$, которая называется оперативной характеристикой данного плана контроля.

Устанавливают два уровня качества:

- приемочный (ПРУК), при котором $s = s_\alpha$.
- браковочный (БРУК), при котором $s = s_\beta$ (где $s_\beta > s_\alpha$).

Риском поставщика (изготовителя) α называется вероятность бракования партии изделий с приемочным уровнем качества:

$$\alpha = 1 - P(s_\alpha)$$

Риском заказчика (потребителя) называется вероятность приемки партии изделий с браковочным уровнем качества:

$$\beta = P(s_\beta)$$

Многоступенчатый контроль может быть двух-, трехступенчатым (и более). Предельным случаем многоступенчатого контроля является последовательный контроль.

При заданных рисках метод последовательного анализа обеспечивает значительно меньший объем испытаний, чем одноступенчатый контроль (метод однократной выборки).

Объемы испытаний, соответствующие методам двух-, трехкратной выборки (и более), занимают промежуточное значение между объемами испытаний, соответствующими методами однократной выборки и последовательного анализа. Поэтому многоступенчатый контроль в виде метода последовательного анализа получил широкое применение при испытаниях серийной продукции.

В интересах сочетания преимущества планирования, которыми обладает одноступенчатый контроль (метод однократной выборки), с экономическими преимуществами метода последовательного анализа на практике применяют усеченный последовательный контроль, который заключается в следующем:

- максимальный объем испытаний планируется по методу одноступенчатого контроля;
- испытания ведутся вначале по методу последовательного анализа, при котором оцениваются результаты испытаний;
- при достижении максимального объема испытаний, запланированного по методу одноступенчатого контроля, испытания прекращаются, и оценка их результатов производится по методу однократной выборки [2].

Для обеспечения комплексного воздействия всех внешних факторов (условий и режимов работы) при оценке качества (надежности) изделий максимальный объем проводимых испытаний делится на несколько (обычно два-пять) одинаковых циклов. В каждом цикле испытаний воспроизводится воздействие всех внешних факторов, а оценка результатов испытаний проводятся после окончания каждого цикла.

При усеченном последовательном контроле несколько изменяются риски поставщика и заказчика. Однако это изменение весьма незначительно, поэтому на практике им можно пренебречь.

Метод последовательного анализа основывается на применении отношения правдоподобия:

$$\gamma_n = \frac{\varphi(n, s_\beta, m)}{\varphi(n, s_\alpha, m)},$$

где $\varphi(n, s, m)$ - плотность распределения случайного количества дефектных изделий m в выборке объема n , если доля дефектных изделий в партии равна s , s_β , s_α .

Суть последовательного анализа заключается в следующем. На опыте последовательно увеличивается объем испытаний n и для каждого n определяется отношение правдоподобия γ_n :

- при выполнении условия $\gamma_n \leq \frac{\beta}{1-\alpha}$ испытания прекращаются и партия изделий принимается;

- при выполнении условия $\gamma_n \geq \frac{1-\beta}{\alpha}$ испытания прекращаются и партия изделий бракуется;

- при выполнении условия $\frac{\beta}{1-\alpha} < \gamma_n < \frac{1-\beta}{\alpha}$ испытания продолжаются.

При биномиальном распределении вероятность получения m дефектных изделий в выборке n ($n < 0,1N$) определяется зависимостью

$$\varphi(n, s, m) = C_n^m s^m p^{n-m}$$

Приемочное число дефектных изделий в выборке n с учетом рассмотренных зависимостей определится следующим образом:

$$c_{np} = \frac{\ln\left(\frac{p_\alpha}{p_\beta}\right)}{\ln\left(\frac{s_\beta p_\alpha}{s_\alpha p_\beta}\right)} n - \frac{\ln\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right)}{\ln\left(\frac{s_\beta p_\alpha}{s_\alpha p_\beta}\right)}$$

Браковочное число изделий в выборке:

$$c_{\text{бр}} = \frac{\ln\left(\frac{p_\alpha}{p_\beta}\right)}{\ln\left(\frac{s_\beta p_\alpha}{s_\alpha p_\beta}\right)} n + \frac{\ln\left(\frac{1-\beta}{\alpha}\right)}{\ln\left(\frac{s_\beta p_\alpha}{s_\alpha p_\beta}\right)},$$

При этом $p_\alpha = 1 - s_\alpha$ и $p_\beta = 1 - s_\beta$

Линия приемки определится выражением $n \geq \frac{\ln\left(\frac{1-\alpha}{\beta}\right)}{\ln\left(\frac{p_\alpha}{p_\beta}\right)}$, а линия брака -

$n \geq 0$.

Если величины s , s_α , s_β удовлетворяют условию $s < 0,10$, то количество дефектных изделий m в выборке n можно полагать распределенным по закону Пуассона, при этом

$$\varphi(n, s, m) = \frac{a^m e^{-a}}{m!},$$

где $a = ns$.

Выражения, определяющие соответственно приемочное количество дефектных изделий в выборке n выглядят следующим образом:

$$c_{np} = \frac{K-1}{K \ln K} \alpha_\beta + \frac{\ln \frac{1-\alpha}{\beta}}{\ln K}$$

Браковочное количество изделий:

$$c_{\bar{o}p} = \frac{K-1}{K \ln K} \alpha_\beta + \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln K},$$

При этом $K = \frac{s_\beta}{s_\alpha}$ и $\alpha_\beta = ns_\beta$.

Здесь линия приемки $\alpha_\beta \geq \frac{K}{K-1} \ln \frac{1-\alpha}{\beta}$, а линии брака $\alpha_\beta \geq 0$.

С учетом приемочного c_{np} и браковочного $c_{\bar{o}p}$ количества дефектных изделий в выборке n условия принятия решения по результатам многоступенчатого контроля, в частности последовательного анализа, можно представить в виде:

$m \leq c_{np}$ - условие прекращения испытаний и приемки партии (соответствия их качества установленным требованиям);

$m \geq c_{\bar{o}p}$ - условие прекращения испытаний и бракования партии (несоответствия ее качества установленным требованиям);

$c_{np} < m < c_{\bar{o}p}$ - условие необходимости продолжения испытаний.

Например, требуется установить план непараметрического многоступенчатого (усеченного последовательного) контроля доли дефектных изделий в партии объемом $N=600$. Заданные контрольные уровни соответственно равны: $s_\alpha=0,03$ и $s_\beta=0,09$. Допустимые риски поставщика и заказчика составляют $\alpha=\beta=0,20$.

Найдем

$$\frac{K-1}{K \ln K} = \frac{3-1}{3 \ln 3} = \frac{2}{3 \cdot 1,10} = 0,606;$$

$$\frac{\ln \left[\left(1 - \frac{\alpha}{\beta} \right) \right]}{\ln K} = \frac{\ln \left(\frac{0,8}{0,2} \right)}{\ln 3} = \frac{1,39}{1,10} = 1,26$$

$$c_{np} = (0,606 \alpha_\beta - 1,26) = (0,0545n - 1,26) \text{ - линия приемки;}$$

$$c_{\bar{o}p} = (0,606 \alpha_\beta + 1,26) = (0,0545n + 1,26) \text{ - линия бракования.}$$

При этом точке усечения многоступенчатых (последовательных) испытаний соответствует $n = 51$; $\alpha_\beta = 51 \cdot 0,09 = 4,6$; $c_{np} = 2$; $c_{\bar{o}p} = 2+1=3$ (рисунок 9.2).

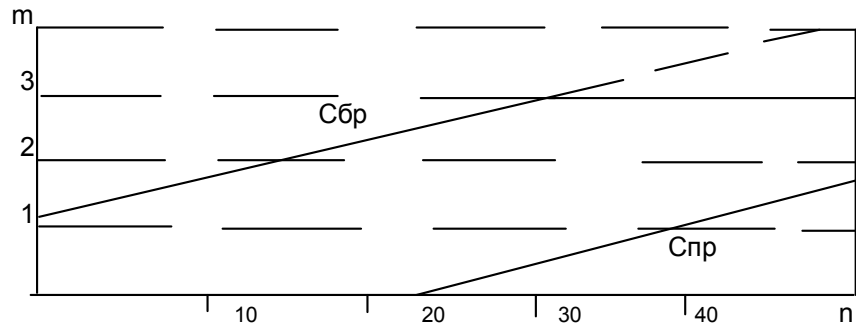


Рисунок 9.2 - Схема усеченного последовательного контроля

СОДЕРЖАНИЕ

1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	2
2 ИЗНАШИВАНИЕ И ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	8
3 КАЧЕСТВО ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	15
4 РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	22
5 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ.....	30
6 СБОР И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ О РАБОТОСПОСОБНОСТИ.....	38
7 ИСПЫТАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ.....	50
8 КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	69
СНАБЖЕНИЕ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ.....	81

**Петряков Сергей Николаевич
Дежаткин Михаил Евгеньевич
Хохлов Антон Алексеевич**

ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

краткий курс лекций

для подготовки бакалавров очной и заочной форм обучения по
направлению подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транс-
портно-технологических машин и комплексов» - Дмитровград: Технологи-
ческий институт – филиал УлГАУ, 2019.- 98 с.