

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Неразрушающий контроль и техническая диагностика»

С. Г. ДОДОЛЕВ, О. В. ХОЛОДИЛОВ

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКИ

*Одобрено методической комиссией заочного факультета в качестве  
учебно-методического пособия для студентов технических специальностей*

Гомель 2013

УДК 629.017 (075.8)  
ББК 34.41  
Д60

**Р е ц е н з е н т** – директор Института повышения квалификации и переподготовки руководителей и специалистов транспортного комплекса Республики Беларусь кандидат технических наук, доцент *С. И. Сухопаров* (УО «БелГУТ»)

**Д60 Додолев, С. Г.**

Теоретические основы надежности и диагностики : учеб.-метод. пособие / С. Г. Додолев, О. В. Холодилов; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 42 с.

ISBN 978-985-554-236-1

Приведена краткая информация по теории надежности и диагностики.

Предназначено для студентов технических специальностей, а также может быть полезно для инженеров и слушателей курсов повышения квалификации.

**УДК 629.017 (075.8)**  
**ББК 34.41**

**ISBN 978-985-554-236-1**

© Додолев С. Г., Холодилов О. В., 2013  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2013

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ</b> .....	5
1.1 Проблема надежности и причины её возникновения .....	5
1.2 Основные понятия, термины и определение теории надежности .....	6
1.3 Единичные показатели надежности подвижного состава.....	9
1.4 Обеспечение, определение и контроль надежности .....	11
1.5 Эксплуатационная оценка надежности .....	12
<b>2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ</b> .....	16
2.1 Техническая диагностика.....	16
2.2 Жизненные циклы объекта .....	18
2.3 Технические состояния объекта.....	19
2.4 Параметры технического состояния .....	19
2.5 Достоверность диагностирования.....	20
2.6 Способы повышения контролепригодности транспортного средства.....	22
2.7 Требования к критериям исполнения подвижной единицы .....	22
2.8 Приспособленность объекта контроля к диагностированию.....	23
2.9 Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава .....	24
2.10 Задачи диагностирования.....	25
2.11 Основные требования к диагностическим параметрам .....	27
2.12 Методы диагностирования.....	30
2.13 Характеристика транспортного средства как объекта диагностирования .....	33
2.14 Диагностические модели.....	34
2.15 Алгоритмы технического диагностирования.....	38
<b>ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ</b> .....	39
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	41

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема надежности не нова, хотя *наука о надежности технических систем (ТС), технических объектов (ТО) зародилась лишь в середине XX в.* Можно не сомневаться в том, что первобытный человек, идя на охоту, скажем, на мамонта с простейшим оружием – каменным топором или пикой, надеялся на то, что это орудие охоты не подведет его в бою, что оно надежно. Важность проблемы надежности возрастала в течение многих столетий по мере создания человеком орудий, все более мощных, эффективных, выполняющих важные и сложные функции машин, сооружений, систем. История развития человеческого общества – это история изобретения, создания и совершенствования различных орудий труда, технических устройств и соответствующих технологий для удовлетворения постоянно растущих потребностей и запросов людей. В результате трудом многих поколений создана громадная техносфера – рукотворная искусственная «природа», в которой и существует современный человек.

Достигнутый уровень надежности еще далек от требуемого у значительной части ТО. От низкой надежности технических средств экономика страны терпит громадный экономический ущерб. Последствия отказов машин, технических систем и объектов можно разделить на две категории:

1) прямые потери из-за отказа, аварии, катастрофы (простой отказавших машин, производства, т. е. невыполнение заданных функций, задач; влияние на здоровье и жизнь людей; вредное воздействие на окружающую среду);

2) затраты на восстановление отказавших технических устройств, их ремонт и восстановление работоспособности.

Затраты на ремонт и техническое обслуживание за срок службы машины в несколько раз превышают ее стоимость: для автомобилей – в шесть раз, для самолетов – до пяти раз, для станков – до восьми раз. На долю тракторостроительных заводов приходится лишь 22 % мощностей, а на долю заводов по выпуску запчастей к тракторам – 34 %, на долю ремонтных предприятий – 44 %. Иначе говоря, на ремонт тракторов затрачивается почти в четыре раза больше производственных мощностей, чем на их изготовление.

# 1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

## 1.1 Проблема надежности и причины её возникновения

Произошедшие аварии и катастрофы техногенного характера показали, к какому громадному ущербу приводит низкая надежность сложных технических систем (отказ энергетической системы в США, авария при запуске космического корабля «Шаттл», Чернобыльская катастрофа и др.). Для недопущения подобных трагедий потребовалась разработка научных методов анализа, расчета и обеспечения высокой надежности ТО и их элементов, т. е. теории надежности.

Итак, **надежность** – это одна из обязательных составляющих качества любого технического объекта, часть его качества. Однако, являясь лишь одним из элементов качества, надежность существенно отличается от всех других его элементов, от остальных его свойств, а именно:

- надежность является наиболее общим комплексным свойством, характеризующим качество любого технического изделия, машины, прибора;

- это единственное общее свойство огромного большинства промышленных изделий;

- реализуется во времени, все остальные свойства имеют мгновенные значения;

- не подлежит инструментальному измерению, а определяется расчетами (вероятностными или статистическими).

Комплексность свойства «надежность» состоит в том, что техническое устройство считается тем надежнее, чем реже оно отказывает, чем дольше работает до потери работоспособности, чем проще и дешевле восстанавливается после отказа.

Несмотря на систематическое увеличение надежности элементной базы систем, все же *непрерывное возрастание объема и сложности оборудования является одной из главных причин появления отказов в его системах*. Поэтому сокращение длительности простоев техники может быть достигнуто также уменьшением времени определения работоспособности оборудования и поиска места отказа в них. Эта проблема может быть решена путем разработки и внедрения в эксплуатацию прогрессивных методов и средств контроля технического состояния оборудования.

**Эффективность работы транспорта базируется на надежности**, которая обеспечивается в процессе его производства, эксплуатации и ремонта и определяется:

- совершенством конструкции и качеством изготовления;

- своевременным и качественным выполнением технического

обслуживания и ремонта;

– своевременным обеспечением и использованием нормативных запасов материалов и запасных частей высокого качества и необходимой номенклатуры.

– соблюдением государственных стандартов и Правил технической эксплуатации.

## **1.2 Основные понятия, термины и определение теории надежности**

**Терминология по теории надежности в технике** распространяется на любые технические объекты – изделия, сооружения и системы, а также их подсистемы, рассматриваемые с точки зрения надежности на этапах проектирования, производства, испытания, эксплуатации и ремонта. В качестве подсистем могут рассматриваться сборочные единицы, детали, компонентные элементы. При необходимости в понятие "объект" могут быть включены информация и ее носители, а также человеческий фактор (например, при рассмотрении надежности системы "машина – оператор").

*Надежность* – свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность – комплексное свойство, состоящее в общем случае из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Например, для неремонтируемых объектов основным свойством может являться безотказность. Для ремонтируемых объектов одним из важнейших свойств, составляющих понятие надежности, может быть ремонтпригодность.

*Безотказность* – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

*Долговечность* – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

*Ремонтпригодность* – 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 способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

*Время восстановления* ( $\tau_i$ ) – продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта.

*Среднее время восстановления* ( $T_v$ , ч/ед.) – это среднее арифметическое

время, необходимое для восстановления отказавшего узла:

$$T_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}, \quad (1)$$

где  $\tau_i$  – время восстановления  $i$ -го элемента (объекта), ч;  
 $n$  – число отказов данного элемента.

На время  $T_{\text{в}}$  оказывает влияние квалификация ремонтного персонала.

*Интенсивность восстановления* ( $\mu$ , ед./ч) – обратная величина среднему времени восстановления:

$$\mu = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \tau_i} = \frac{1}{T_{\text{в}}}. \quad (2)$$

Коэффициент использования  $K_{\text{в}}$  учитывает дополнительные преднамеренные выходы элемента из эксплуатации, необходимые для проведения планово-предупредительных ремонтов:

$$K_{\text{в}} = \frac{\sum t_{\text{дв}}}{\dot{Q}_{\text{в}}}, \quad (3)$$

где  $t_{\text{раб}}$  – время работы подвижной единицы, ч;

$T_{\text{к}}$  – календарное время, ч.

В случае, когда требуется оценить надежность работы элемента безотносительно к времени его работы, используются рассматриваемые ниже показатели.

*Коэффициент готовности* ( $\hat{E}_{\text{в}}$ ) – это отношение времени готовности к работе объекта к календарному времени:

$$\hat{E}_{\text{в}} = \frac{\sum t_{\text{дв}} + \sum t_i}{T_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где  $t_{\text{п}}$  – время простоя в ожидании работы, ч.

Иначе, коэффициентом готовности  $K_{\text{г}}$  называется отношение времени исправной работы  $t_{\text{раб}}$  к сумме времени исправной работы и вынужденных простоев изделий  $t_{\text{п}}$ , взятых за один и тот же календарный срок:

$$\hat{E}_{\bar{a}} = \frac{t_{\text{раб}}}{t_{\text{раб}} + t_{\bar{a}}} . \quad (5)$$

Для перехода к вероятностному определению  $K_{\Gamma}$  величины  $t_{\text{раб}}$  и  $t_{\Pi}$  заменяются математическим ожиданием времени между соседними отказами и времени восстановления соответственно:

$$\hat{E}_{\bar{a}} = \frac{t_{\text{нп}}}{t_{\text{нп}} + t_{\bar{a}}} , \quad (6)$$

где  $t_{\text{cp}}$  – время наработки на отказ, ч;

$t_{\text{n}}$  – среднее время восстановления, ч.

Коэффициент готовности имеет смысл надежностного коэффициента полезного действия, так как числитель представляет собой полезную составляющую, а знаменатель – общие затраты времени.

Коэффициент готовности является важным показателем надежности, так как характеризует готовность элемента к работе и позволяет также оценить его эксплуатационные качества (удобство эксплуатации, стоимость эксплуатации) и требуемую квалификацию обслуживающего персонала.

*Коэффициент простоя* ( $\hat{E}_{\bar{i}}$ ) – отношение времени простоя объекта во всех видах осмотров и ремонтов к календарному времени.

$$\hat{E}_{\bar{i}} = \frac{t_{\bar{i}}}{t_{\text{раб}} + t_{\bar{i}}} . \quad (7)$$

Очевидно, что всегда имеет место равенство

$$\hat{E}_{\bar{a}} + \hat{E}_{\bar{i}} = 1 . \quad (8)$$

*Коэффициент ремонтпригодности* ( $K_{\delta}$ ) определяется из выражения

$$K_{\delta} = \frac{\sum t_{\bar{i}}}{\sum t_{\bar{i}} + \sum t_{\text{раб}}} , \quad (9)$$

где  $t_{\text{n}}$  – время на поиск неисправности и устранение выявленной неисправности, ч.

*Коэффициент стоимости эксплуатации* ( $\hat{E}_{\text{нп}}$ ) служит для оценки расхода средств, необходимых для поддержания оборудования ПЕ в надлежащем состоянии в процессе эксплуатации



$$\hat{E}_{\text{пв}} = \frac{\tilde{N}_{\text{а}}}{\tilde{N}_{\text{г}}}, \quad (10)$$

где  $C_{\text{г}}$  – стоимость обслуживания объекта в течение года, р.;

$C_{\text{о}}$  – строительная стоимость объекта, р.

*Технический ресурс* представляет запас возможной наработки объекта. Для неремонтируемых объектов он совпадает с продолжительностью пребывания в работоспособном состоянии в режиме применения по назначению, если переход в предельное состояние обусловлен только возникновением отказа.

### 1.3 Единичные показатели надежности подвижного состава

*Показатель надежности* – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

*Единичный показатель надежности* – показатель надежности, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта.

*Назначенный ресурс* – суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния.

*Остаточный ресурс* – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до перехода в предельное состояние.

*Срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации (в том числе хранение, ремонт и т. п.) от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

*Комплексный показатель надежности* – показатель надежности, характеризующий несколько свойств, составляющих надежность объекта.

*Коэффициент готовности* – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

*Коэффициент оперативной готовности* – вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

*Коэффициент технического использования* – отношение математического ожидания суммарного 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.

*Коэффициент сохранения эффективности* – отношение значения показателя эффективности использования объекта по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают.

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

*Наработка до отказа* – наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа.

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

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

*Интенсивность отказов* – отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени.

*Расчетный показатель надежности* – показатель надежности, значения которого определяются расчетным методом.

*Экспериментальный показатель надежности* – показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным испытаний.

*Эксплуатационный показатель надежности* – показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным эксплуатации.

*Экстраполированный показатель надежности* – показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется на основании результатов расчетов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путем экстраполирования на другую продолжительность эксплуатации и другие условия эксплуатации.

Для объектов, которые являются потенциальным источником опасности, важными понятиями являются "безопасность" и "живучесть".

*Безопасность* – свойство объекта при изготовлении и эксплуатации и в случае нарушения работоспособного состояния не создавать угрозу для жизни и здоровья людей, а также для окружающей среды.

Хотя безопасность не входит в общее понятие надежности, однако при определенных условиях тесно связана с этим понятием, например, если отказы могут привести к условиям, вредным для людей и окружающей среды сверх предельно допустимых норм.

Пограничное место между понятиями "надежность" и "безопасность" занимает понятие "живучесть".

*Живучесть* – свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических отказов из дефектов и повреждений при установленной системе технического обслуживания и ремонта, или свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации, или свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов.

Примером служит сохранение несущей способности элементами конструкции при возникновении в них усталостных трещин, размеры которых не превышают заданных значений.

#### **1.4 Обеспечение, определение и контроль надежности**

*Программа обеспечения надежности* – документ, устанавливающий комплекс взаимосвязанных организационно-технических требований и мероприятий, подлежащих проведению на определенных стадиях жизненного цикла объекта и направленных на обеспечение заданных требований к надежности и (или) на повышение надежности объектов эксплуатации.

Программа обеспечения надежности включает, в частности, программу экспериментальной отработки, которая определяет цели, задачи, порядок проведения и необходимый объем испытаний или экспериментальной отработки, а также регламентирует порядок подтверждения показателей надежности на стадии разработки. Программа обеспечения ремонтпригодности устанавливает комплекс взаимосвязанных организационно-технических требований и мероприятий, направленных на обеспечение заданных требований по ремонтпригодности и (или) повышения ремонтпригодности. Она разрабатывается одновременно с программой обеспечения надежности и является либо ее составной частью, либо самостоятельной программой.

*Определение надежности* – определение численных значений показателей надежности объекта.

*Контроль надежности* – проверка соответствия объекта заданным требованиям к надежности.

*Расчетный метод определения надежности* – метод, основанный на вычислении показателей надежности по справочным данным о надежности компонентов и комплектующих элементов объекта, по данным о надежности

объекта, о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту оценки надежности.

*Расчетно-экспериментальный метод определения надежности* – метод, при котором показатели надежности всех или некоторых составных частей объектов определяют по результатам испытаний и (или) эксплуатации, а показатели надежности объекта в целом рассчитывают по математической модели.

*Экспериментальный метод определения надежности* – метод, основанный на статистической обработке данных, получаемых при испытаниях или эксплуатации объекта в целом.

### **1.5 Эксплуатационная оценка надежности**

Теоретическая оценка надежности объекта эксплуатации дает, как правило, приблизительное представление о ней. Точные результаты можно получить только на практике при экспериментальном определении показателей надежности. В этом случае учитываются все внешние воздействия на систему, элементы и их корреляционные связи.

Однако для получения достоверных данных требуется большое число экспериментов, исследуемых узлов и агрегатов и длительное время наблюдения за ними. За это время экспериментальные материалы могут устареть и не принести пользу при проектировании новых систем.

Ограничивая количество испытываемых объектов и срок наблюдения за ними, получаем не конкретные значения показателей надежности, а границы его возможных значений – минимальное и максимальное время наработки на отказ, которое может быть определено с использованием методов математической статистики.

*Минимальное время наработки на отказ*

$$\dot{O}_{\min} = T_i - t_{p/2}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n-1}}, \quad (11)$$

где  $T_0$  – наработка на отказ, определяется по формуле

$$T_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T, \quad (12)$$

$n$  – количество отказов;

$T$  – время работы объекта, ч;

$t_{p/2}$  – коэффициент, зависящий от числа опытов  $n$  и доверительной вероятности  $P = (1 - \alpha)$ ; определяется по таблице 1, где  $\alpha$  – заданная точность определения показателей надежности;

$s$  – среднеквадратичное отклонение.

Максимальное время наработки на отказ

$$\dot{O}_{\max} = T_0 + t_{p/2}(n-1) \frac{s}{\sqrt{n-1}} . \quad (13)$$

Среднеквадратичное отклонение от заданной величины

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (T_i - T_{\bar{i}})^2} , \quad (14)$$

где  $T_i$  – время наработки на отказ  $i$ -го элемента, ч.

Таблица 1 – Величина  $t_{p/2}$

n	$\alpha$					
	0,50	0,25	0,10	0,05	0,01	0,005
1	1,000	2,414	6,314	12,706	63,657	127,320
2	0,817	1,604	2,920	4,303	9,925	14,089
3	0,765	1,423	2,353	3,183	5,841	7,453
4	0,741	1,344	2,132	2,776	4,604	5,598
5	0,727	1,301	2,015	2,571	4,032	4,773
6	0,718	1,273	1,943	2,447	3,707	4,317
7	0,711	1,254	1,895	2,365	3,500	4,029
8	0,706	1,240	1,860	2,306	3,355	3,832
9	0,703	1,230	1,833	2,262	3,250	3,690
10	0,700	1,221	1,813	2,228	3,169	3,581
15	0,691	1,197	1,753	2,132	2,947	3,286
20	0,687	1,185	1,725	2,086	2,845	3,153
25	0,684	1,178	1,708	2,060	2,787	3,078
30	0,683	1,173	1,697	2,042	2,750	3,030
40	0,681	1,167	1,689	2,021	2,705	2,971
60	0,679	1,162	1,671	2,000	2,660	2,915
120	0,677	1,156	1,658	2,980	2,617	2,860
$\infty$	0,674	1,150	1,645	2,960	2,576	2,807

Срок сохраняемости – календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта, в течение которой сохраняются в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции.

Срок службы и срок сохраняемости измеряют в единицах времени. Соотношение значений ресурса и срока службы зависит от интенсивности использования объекта.

Средний срок службы – математическое ожидание срока службы.

Назначенный ресурс – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния (замена ламп накаливания после определенной

наработки, даже если они исправны, военная техника и т.д.).

*Назначенный срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния.

*Назначенный срок хранения* – календарная продолжительность хранения, при достижении которой хранение объекта должно быть прекращено независимо от его технического состояния.

*Испытание* – экспериментальное определение (оценивание) и (или) контроль количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результат воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

*Определительные испытания на надежность* – испытания, проводимые для определения значений характеристик объекта с заданными значениями точности и (или) достоверности.

*Контрольные испытания на надежность* – испытания, проводимые для контроля качества объекта (контроля показателей надежности). Среди контрольных обычно различают приемо-сдаточные и типовые испытания. Контрольные испытания готовой продукции, проводимые при приемочном контроле, называются приемо-сдаточными. К типовым испытаниям относятся контрольные испытания продукции, проводимые с целью оценки эффективности и целесообразности вносимых изменений в конструкцию, рецептуру или технологический процесс.

*Исследовательские испытания* – испытания, проводимые для изучения определенных характеристик свойств объектов. Исследовательские испытания, проводимые для определения зависимости между предельно допустимыми значениями параметров объекта и значениями параметров режимов эксплуатации, называются граничными.

*Доводочные испытания* – исследовательские испытания, проводимые в процессе разработки изделий с целью оценки влияния вносимых в них изменений для достижения требуемых показателей качества.

*Предварительные испытания* – контрольные испытания опытных образцов (партий) изделий с целью определения возможности их предъявления на приемочные испытания.

*Приемочные испытания* – это контрольные испытания опытных образцов (партий) изделий, а также изделий единичного производства, проводимые соответственно для решения вопроса о целесообразности постановки на производство этих изделий или передачи их в эксплуатацию.

К *нормальным относятся испытания*, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимого объема информации о характеристиках свойств объекта в такой же интервал времени, как и в предусмотренных условиях эксплуатации.

*Ускоренные испытания* – испытания, методы и условия проведения которых обеспечивают получение необходимой информации в более короткий срок, чем при нормальных испытаниях. Сокращенные испытания – испытания, проводимые по сокращенной программе без интенсификации процессов, вызывающих отказы и повреждения.

*Форсированные испытания* – ускоренные испытания, основанные на интенсификации деградационных процессов, приводящих к отказам.

*Испытание* – экспериментальное определение (оценивание) и (или) контроль количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результат воздействия на него, при его функционировании, моделировании объекта и (или) воздействии.

*Разрушающие испытания* – испытания с применением разрушающих методов контроля, которые могут нарушить пригодность объекта к использованию по назначению.

*Неразрушающие испытания* – испытания с применением неразрушающих методов контроля.

Испытаниям могут подвергаться как натурные опытные или серийные образцы изделий и систем, так и их макеты и модели (макеты и модели зданий и самолетов в аэродинамической трубе).

*Натурные испытания* – испытания объекта в условиях, соответствующих условиям его использования по прямому назначению с непосредственным оцениванием или контролем определяемых характеристик свойств объекта.

*Макет для испытаний* – изделие, представляющее собой упрощенное воспроизведение объекта испытаний или его части и предназначенное для испытаний.

*Модель для испытаний* – изделие, процесс, явление, математическая модель, находящиеся в определенном соответствии с объектом испытаний и (или) воздействиями на него, и способные замещать его в процессе испытаний.

К *лабораторным (стендовым)* относятся испытания, проводимые в лабораторных условиях на испытательном стенде, т.е. на техническом устройстве, предназначенном для установки объекта испытаний в заданных положениях, создания воздействий, съема информации и осуществления управления процессом испытаний и (или) объектом испытаний.

*Полигонные испытания* проводятся на испытательном полигоне, т.е. на месте, предназначенном для проведения испытания в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта, и обеспеченном необходимыми средствами испытаний.

*Эксплуатационные испытания на надежность* – испытания, проводимые

в условиях эксплуатации объекта для определения (оценки) показателей надежности в заданных режимах и условиях эксплуатации.

*План испытаний на надежность* – совокупность правил, устанавливающих объем выборки, порядок проведения испытаний, критерии их завершения и принятия решений по результатам испытаний.

*Объем испытаний на надежность* – характеристика плана испытаний на надежность, включающая число испытываемых образцов, суммарную продолжительность испытаний в единицах наработки и числа серий испытаний.

*Нормирование надежности* – установление в нормативно-технической документации и (или) конструкторской (проектной) документации количественных и качественных требований к надежности.

*Примечание* – Нормирование надежности включает выбор номенклатуры нормируемых показателей надежности; технико-экономическое обоснование значений показателей надежности объекта и его составных частей; задание требований к точности и достоверности исходных данных; формулирование критериев отказов, повреждений и предельных состояний; задание требований к методам контроля надежности на всех этапах жизненного цикла объекта.

*Нормируемый показатель надежности* – показатель надежности, значение которого регламентировано нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией на объект.

*Примечание* – В качестве нормируемых показателей надежности могут быть использованы один или несколько показателей, в зависимости от назначения объекта, степени его ответственности, условий эксплуатации, последствий возможных отказов, ограничений на затраты, а также от соотношения затрат на обеспечение надежности объекта и затрат на его техническое обслуживание и ремонт. По согласованию между заказчиком и разработчиком (изготовителем) допускается нормировать показатели надежности, которые не противоречат определениям показателей стандарта по надежности. Значения нормируемых показателей надежности учитывают, в частности, при назначении цены объекта, гарантийного срока и гарантийной наработки.

*Длительность гарантийного срока эксплуатации* (гарантийной наработки, гарантийного срока хранения) должна быть достаточной для выявления и устранения скрытых дефектов и определяется соглашением между потребителем (заказчиком) и поставщиком (изготовителем).

## **2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**



## 2.1 Техническая диагностика

Используемый термин "*диагноз*" происходит от греческого слова "диагнозис" (распознавание, определение) и означает заключение о состоянии объекта (без разборки).

*Техническая диагностика* (диагностика) – область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов.

Техническая диагностика имеет целью получение и анализ информации, позволяющей оценить техническое состояние машины в целом или ее элементов без разборки, а также составить прогноз возможного появления тех или иных неисправностей и времени возникновения отказов. Она позволяет своевременно принять меры по устранению выявленных неисправностей и выполняется опытными слесарями-ремонтниками или механиками в процессе плановых профилактических осмотров, а также перед ремонтами с целью установления подлежащих ликвидации дефектов.

*Техническое диагностирование* (диагностирование) – процесс определения технического состояния объекта.

*Технический диагноз* – результат диагностирования (результат контроля).

*Рабочее техническое диагностирование* – диагностирование, при котором на объект подаются рабочие воздействия.

*Тестовое техническое диагностирование* – диагностирование, при котором на объект подаются тестовые воздействия.

*Экспресс-диагностирование* – диагностирование по ограниченному числу параметров за заранее установленное время.

*Средства технического диагностирования* (контроля технического состояния) – аппаратура и программы, с помощью которых осуществляется диагностирование (контроль).

*Дефект* – это каждое отдельное несоответствие установленным требованиям.

*Повреждение* – это событие, которое заключается в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

*Сбой* – это самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

*Объект технического диагностирования* (контроля технического состояния) – изделие и (или) его составные части, подлежащие (подвергаемые) диагностированию (контролю).

*Элемент* – часть объекта диагностирования (элементами машины являются агрегаты, узлы и отдельные детали).

*Система* – совокупность элементов, объединенных конструктивно и/или функционально для выполнения некоторых требуемых функций.

*Элемент системы* – часть системы, предназначенная для выполнения

определенных функций и неделимая на составные части при данном уровне рассмотрения (*элемент* – составная часть технического объекта, рассматриваемая при проведении анализа как единое целое, не подлежащее дальнейшему разукрупнению).

Понятия элемента и системы трансформируются в зависимости от поставленной задачи. Например, станок при установлении его собственной надежности рассматривается как система, состоящая из отдельных элементов – механизмов, деталей и т.п., а при изучении надежности технологической линии – как элемент.

*Техника* – совокупность средств человеческой деятельности, созданных для осуществления процессов производства и удовлетворения производственных потребностей человека и общества.

*Изделие* – любой предмет производства (или набор предметов), подлежащий изготовлению на предприятии.

## **2.2 Жизненные циклы объекта**

Каждая техническая система и ее элементы проходят определенный жизненный цикл (продолжительность эксплуатации системы) от момента проектирования до момента утилизации.

Жизненный цикл делят на следующие **этапы**:

1) инициализации цикла. Основные возможные *варианты* реализации этого этапа:

- осознание и изучение вновь сложившейся или изменившейся потребности в техническом средстве (возможно даже искусственное стимулирование потребности);

- возникшая возможность использования новых материалов, технологий, конструкторских решений, достижений фундаментальной и прикладной науки, накопленного опыта эксплуатации аналогичных технических средств;

2) создания, включающий в себя следующие *стадии*:

- разработку (проектирование), куда входит: техническое задание, техническое предложение, эскизный проект, технический проект, разработка рабочей документации на опытный образец (партию) изделий, изготовление опытного образца (партии) изделий, испытания опытного образца (партии) изделий, подготовка документации на изделия серийного (массового) производства, изготовление и испытание установочной серии и т.д.

- изготовление;

- поставка.

Следует отметить, что вспомогательные технические средства, используемые на стадии разработки (опытные образцы, макеты, экспериментальные и испытательные установки) имеют свой жизненный цикл, не совпадающий с жизненным циклом основного технического

средства.

Описанные выше стадии составляют идеальную часть жизненного цикла, на которой рассматриваемое техническое средство еще не существует как материальный объект, далее следует материальная часть жизненного цикла;

3) применения (эксплуатации), включающий в себя следующие *стадии*:

- хранение;
- транспортирование;
- подготовка к применению по назначению (развертывание, монтаж и наладка);

- испытание;
- ожидание применения по назначению;
- применение по назначению;
- техническое обслуживание;
- ремонт;

4) конечный – вывод из эксплуатации, списание, ликвидация и утилизация отходов. *Основаниями для перехода* к конечному этапу жизненного цикла могут быть:

- исчезновение или существенное изменение потребности;
- моральное старение (например, пейджер);
- физическое старение (полное исчерпание ресурса вследствие физического износа и невозможность или нецелесообразность его восстановления путем ремонта).

### **2.3 Техническое состояние объекта**

*Техническое состояние объекта диагностирования* – совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризующаяся в определенный момент времени признаками, установленными технической документацией на этот объект.

*Исправность* – состояние, при котором объект соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией (НТД).

*Неисправность* – состояние, при котором объект не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической документации.

*Работоспособность* – состояние, при котором объект способен выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных выходных основных параметров в пределах, установленных НТД. При этом неосновные характеристики объекта могут не соответствовать требованиям (наличие коррозии, нарушение окраски, неправильная контровка и т.д.). Следовательно, работоспособный объект может быть неисправным. Исправный объект – всегда работоспособен.

*Неработоспособность* – состояние, при котором значения хотя бы одного заданного параметра, определяющего способность объекта выполнять заданные функции, не соответствует требованиям НТД.

При одном и том же существующем техническом состоянии объект может быть работоспособным для одних условий применения и неработоспособным для других.

*Правильное функционирование* означает, что применяемый по назначению объект в текущий момент времени выполняет предписанный алгоритм функционирования.

## **2.4 Параметры технического состояния**

*Параметр технического состояния* – физическая величина, характеризующая работоспособность или исправность объекта диагностирования, изменяющаяся в процессе работы.

*Номинальное значение параметра* соответствует новым, технически исправным транспортным средствам, агрегатам, узлам, элементам.

*Предельное значение параметра* соответствует такому состоянию объекта, когда его дальнейшая эксплуатация становится технически невозможной или экономически невыгодной.

*Допускаемое значение параметра* представляет собой ужесточенное предельное значение, при котором обеспечивается заданный либо экономически оптимальный уровень вероятности отказа на предстоящей межконтрольной наработке.

При системе технического обслуживания по состоянию допускаемое значение параметра является основным управляющим показателем. Сравнивая в момент контроля текущее значение диагностических параметров с допускаемыми, выносят решение об исправности объекта либо необходимости проведения технического воздействия – предупредительного ремонта или регулирования. Номинальные и предельные значения структурных параметров элементов транспортных средств устанавливаются изготовителями в отраслевой нормативно-технической документации.

*Диагностический параметр* – параметр объекта диагностирования, используемый в установленном порядке для определения технического состояния объекта диагностирования (температура, шум, вибрация, расход топлива, пульсация давления и др., косвенно характеризующие работоспособность объекта диагностирования).

*Структурный параметр* – параметр, непосредственно характеризующий работоспособность объекта диагностирования (износ, зазор, натяг в сопряжениях и др., непосредственно характеризующие работоспособность

объекта диагностирования).

## 2.5 Достоверность диагностирования

Достоверность диагностирования есть мера определенности результатов контроля. Любая система контроля работает с ошибками. Кроме того, контролю подвергается только часть параметров ОД. Поэтому получаемая в результате контроля информация содержит неопределенность. Достоверность диагностирования зависит от точности измерений и объема контроля.

*Достоверность диагностирования* – вероятность того, что при диагностировании определяется то техническое состояние, в котором действительно находится объект диагностирования.

*Условная вероятность необнаруженного отказа* (неисправности) при диагностировании (контроле) – вероятность того, что неисправный (неработоспособный) объект в результате диагностирования (контроля) признаётся исправным (работоспособным).

*Условная вероятность ложного отказа* (неисправности) при диагностировании (контроле) – вероятность того, что исправный (работоспособный) объект в результате диагностирования (контроля) признается неисправным (неработоспособным).

*Измерение* – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

*Полнота технического диагностирования* (контроля технического состояния) – характеристика, определяющая возможность выявления отказов (неисправностей) в ОД при выбранном методе его диагностирования (контроля).

*Глубина поиска места отказа* (неисправности) – характеристика, задаваемая указанием составной части ОД с точностью, до которой определяется место отказа (неисправности).

Решение о техническом состоянии ОД принимается на основе сравнения показателя качества с допусками. Показатель качества вычисляется по измеренным значениям контролируемых параметров. Поэтому достоверность контроля есть достоверность принятия решений по показателям качества.

Наряду с достоверностью по показателю качества рассматривают понятие достоверности по параметру. Достоверность по показателю качества выражается через достоверности по параметрам.

Существует несколько различных численных оценок достоверности (абсолютная, относительная, методическая и т.п.). Мы рассмотрим формулу

для определения абсолютной достоверности и ее основных составляющих, которые используются при вычислениях и других видов достоверности.

*Абсолютная достоверность результатов контроля* – вероятность принятия правильного решения:

$$D = 1 - (\alpha + \beta),$$

где  $\alpha$  – риск изготовителя (вероятность того, что работоспособный объект будет признан негодным);

$\beta$  – риск заказчика (вероятность того, что неработоспособный объект будет признан годным).

В процессе определения технического состояния сложной системы при контроле каждого параметра возможны следующие независимые и единственно возможные события:

- годный параметр оценивается системой контроля как годный;
- годный параметр оценивается системой контроля как негодный;
- негодный параметр оценивается системой контроля как негодный;
- негодный параметр оценивается системой контроля как годный.

Под годным понимается параметр, находящийся в пределах установленного допуска, под негодным – параметр, вышедший за пределы допуска.

## **2.6 Способы повышения контролепригодности транспортного средства**

*Контролепригодность* – свойство изделия, характеризующее его приспособленность к проведению контроля заданными средствами.

Повышение контролепригодности транспортных средств может быть осуществлено следующими способами:

- приспособлением транспортного средства к удобному и простому подключению измерительных преобразователей на период диагностирования и контроля, выбором наиболее эффективных методов диагностирования и контроля, обеспечением универсальных, специально выполненных в транспортных средствах присоединительных мест, разъемов, штуцеров, заглушек и т.п.;
- введением в конструкцию транспортных средств встроенных измерительных преобразователей, к выводам которых в период диагностирования можно подключать внебортовые (стационарные и переносные) средства диагностирования (для удобства подключения последних выходы измерительных преобразователей выводят на специально предусмотренные разъемы);
- комплектованием транспортных средств постоянно действующими

измерительными преобразователями и вторичными приборами (системами бортового контроля), выдающими в любой момент времени, выбираемый оператором, информацию о техническом состоянии узла или элемента транспортного средства.

На практике наиболее целесообразно комплексное использование всех трех способов.

Контролепригодность транспортного средства (системы, агрегата, узла, элемента) обеспечивают на стадиях проектирования, разработки и изготовления. В целом требования контролепригодности должны содержать требования к конструктивному исполнению; к параметрам и методам диагностирования; критерии контролепригодности.

## 2.7 Требования к критериям исполнения подвижной единицы

К конструктивному исполнению подвижной единицы предъявляют требования:

- к приспособленности изделия для применения рациональных методов и средств диагностирования в зависимости от вида и назначения систем диагностирования;

- к взаимному согласованию устройств соединения изделия с СТД с учетом стандартизации и унификации соединительных устройств (разъемов, переходников, штуцеров и др.), а также к безопасному и однозначному соединению;

- к числу, расположению, доступности, легкосъемности и подключению соединительных устройств.

К *оперативным критериям* относятся среднее время диагностирования  $t_{д,ср}$ , среднее время подготовки изделия к диагностированию (контролю)  $t_{п,ср}$ , удельные затраты времени на диагностирование  $t_{д,уд}$ , а также временной  $K_B$  и информативно-временной  $K_n$  показатели.

К *экономическим критериям* относятся: энергозатраты  $\mathcal{E}$  (работа, затраченная на диагностирование или контроль); трудоемкость  $T_d$  и стоимость  $C_d$  диагностирования; трудоемкость  $T_n$  и стоимость  $C_n$  подготовки изделия к диагностированию; комплексный стоимостной показатель  $K_{к.с}$ ; удельные трудовые затраты  $K_T$ ; стоимость диагностирования  $K_C$ ; затраты на материалы при диагностировании  $K_M$ , отнесенные к единице наработки изделия; коэффициент трудоемкости подготовки изделия к диагностированию  $K_{т.д}$ ; удельная трудоемкость контроля  $T_{y,к}$ , отнесенная к одному измеряемому параметру.

## 2.8 Приспособленность объекта контроля к диагностированию

*Приспособленность объекта к диагностированию (контролепригодность)* – свойство объекта, характеризующее его пригодность к проведению диагностирования (контроля) заданными средствами диагностирования (контроля).

Различают конструктивную, схемотехническую и тестовую контролепригодность.

*Конструктивная контролепригодность* предусматривает удобство стыковки объекта диагностики с внешней аппаратурой, разделение объекта диагностики на функционально законченные заменяемые элементы (блок, субблок, панель, плата, датчик), простоту замены этих элементов, возможность замены отказавших компонентов, удобство регулировки непосредственно на электроподвижном составе и в ремонтном цехе.

*Схемотехническая контролепригодность* имеет задачей такое построение электрической схемы, при котором диагностирование и ремонт потребуют минимальных сил и средств. Для этого должны быть предусмотрены: необходимые встроенные диагностические устройства; дополнительные входы и контрольные выходы, позволяющие реализовать заданную глубину поиска места повреждения; возможность переключения резервированных систем в режим независимой работы на время проведения диагностирования и при размыкании цепей обратной связи.

*Тестовая контролепригодность* означает возможность выявления повреждений при нерабочем состоянии объекта с помощью тестовых воздействий. Построение системы тестов должно позволять при минимальной затрате времени получить наибольшую информацию о неисправности объекта.

Обеспечение тестовой контролепригодности позволяет определить на неподвижном ПС такие неисправности систем автоматики, которые проявляют себя только в движении при определенных сочетаниях режимов.

*Продолжительность технического диагностирования (контроля технического состояния)* – интервал времени, необходимый для проведения диагностирования (контроля) объекта.

*Достоверность технического диагностирования (контроля технического состояния)* – степень объективного соответствия результатов диагностирования (контроля) действительному техническому состоянию объекта.

*Полнота технического диагностирования (контроля технического состояния)* – характеристика, определяющая возможность выявления отказов (неисправностей) в объекте при выбранном методе его диагностирования (контроля).



*Глубина поиска места отказа* (неисправности) – характеристика, задаваемая указанием составной части объекта с точностью, до которой определяется место отказа (неисправности).

## **2.9 Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава**

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

*Восстановление* – процесс перевода объекта в работоспособное состояние из неработоспособного.

*Восстанавливаемый объект* – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации, в том числе и путем замены.

*Невосстанавливаемый объект* – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. К числу невосстанавливаемых объектов можно отнести, например, подшипники качения, полупроводниковые изделия, зубчатые колеса и т.п. Объекты, состоящие из многих элементов, например станок, автомобиль, электронная аппаратура, являются восстанавливаемыми, поскольку их отказы связаны с повреждениями одного или немногих элементов, которые могут быть заменены.

*Ремонт* – комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделий и восстановлению ресурсов изделий или их составных частей (в широком понятии: приведение в годное состояние какого-либо предмета, починка).

*Ремонтуемый объект* – объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией.

*Неремонтуемый объект* – объект, ремонт которого невозможен или не предусмотрен нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией.

*Обслуживаемый объект* – объект, для которого проведение технического обслуживания предусмотрено нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией.

*Необслуживаемый объект* – объект, для которого проведение технического обслуживания не предусмотрено нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией.

## 2.10 Задачи диагностирования

*Задача диагностирования* – своевременно обнаружить дефекты, найти места и причины их возникновения и, в конечном итоге, восстановить нарушенное дефектами соответствие объекта техническим требованиям.

К основным задачам диагностирования элементов, агрегатов и блоков непосредственно на объекте относятся:

1 Контроль параметров технического состояния элементов, агрегатов, блоков, восстанавливаемых непосредственно на объекте с целью определения объемов ТО и Р по состоянию.

2 Поиск места и определение причин отказа (неисправности).

3 Проведение регулировочных работ с помощью контрольно-диагностического оборудования в процессе диагностирования (регулирование пневмо- и тормозных систем, сходжение колес, зазоров в подшипниках ступиц, нажатия токоприемников, внутреннего давления в шинах, вставок электрических аппаратов и т.п.).

4 Определение остаточного ресурса агрегатов и блоков объекта, восстанавливаемых агрегатным методом с целью назначения срока их демонтажа по состоянию (прогнозирование технического состояния).

5 Определение времени постановки объекта в плановый ремонт. В числе агрегатов и блоков, демонтируемых по состоянию, тяговые электродвигатели, вспомогательные электрические машины, реостатные контроллеры, узлы системы низковольтного электроснабжения, редукторы ведущего моста, карданные валы и др.

6 Контроль качества выполняемых работ и проведение регулировок после плановых и неплановых ремонтов.

7 Поиск отказавшего агрегата, блока, элемента на объектах непланового ремонта.

8 Выборочное диагностирование отдельных объектов по требованию ОТК, руководства технической службы, а также при сезонной подготовке и других аналогичных ситуациях.

Принципы реализации методов диагностирования представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Принципы реализации методов диагностирования**

Принцип построения ТСД	Виды ТСД
Содержание решаемых задач диагностики	Средства для проверки исправности, работоспособности и правильности функционирования. Средства для проверки работоспособности и поиска дефектов. Средства для проверки работоспособности, поиска дефектов и прогнозирования

Способ воздействия на объект в процессе диагностирования	Средства функционального диагностирования. Средства тестового диагностирования. Комбинированные
Степень охвата объекта	Общие. Локальные
Связь ТСД с объектом	Внешние. Встроенные
Уровень автоматизации	Неавтоматизированные. Автоматизированные. Смешанные
Состояние структурных связей элементов объекта в процессе диагностирования	Связи сохраняются (безразборная диагностика). Связи нарушаются (демонтажная диагностика)
Принцип действия ТСД	Аппаратурные. Программные. Программно-аппаратурные
Учитываемые функциональные состояния объекта	Подготовка. Ведение ПС. Ремонт
Степень универсальности	Универсальные. Специализированные
Способы поиска дефектов	Последовательные. Комбинационные
Методы принятия решения об отнесении состояния ОД к определенному виду	Параметрические. Критериальные. Смешанные
Методы оценки технического состояния	Детерминированные (возвращают один и тот же результат при одних и тех же условиях). Стохастические (влияют случайные факторы или процессы)

*Диагностический (контролируемый) параметр* – параметр объекта, используемый при его (контроле) диагностировании (температура, шум, вибрация, расход топлива, пульсация давления и др.), косвенно характеризующий работоспособность объекта диагностирования.

Диагностический параметр следует отличать от контролируемого, так как последний может и не быть параметром технического состояния. Например, частоты вращения дизеля автономного рефрижераторного вагона при проверке работы холодильной установки являются контролируемыми, но не относятся к параметрам его технического состояния.

Диагностические параметры могут быть общими (интегральными), частными и взаимозависимыми. Общие или интегральные параметры характеризуют техническое состояние вагона или агрегата в целом. К интегральным параметрам, например, относятся мощность двигателя на заданной частоте вращения, общий уровень шума агрегата и т.д.

Различают прямые и косвенные диагностические (контролируемые)

параметры.

*Прямой диагностический (контролируемый) параметр* – структурный параметр (например, износ, зазор в сопряжении и др.), непосредственно характеризующий техническое состояние объекта.

*Косвенный диагностический (контролируемый) параметр* – косвенно характеризует техническое состояние (например, давление масла, время, содержание СО в отработавших газах и др.).

Для каждого объекта можно указать множество параметров, характеризующих его техническое состояние. Их выбирают в зависимости от применяемого метода диагностирования (контроля).

*Диагностический признак* – признак (параметр) объекта диагностирования, используемый в установленном порядке для определения технического состояния объекта. Для каждого изделия можно указать множество признаков и параметров, характеризующих его техническое состояние.

## **2.11 Основные требования к диагностическим параметрам**

На практике используют параметры, отвечающие требованиям однозначности, широты измерения (рисунок 1), а также доступности и удобства измерения, информативности, технологичности. При этом в первую очередь учитывают параметры, которые характеризуют наиболее часто повторяющиеся отказы и неисправности.

Под *однозначностью* понимают соответствие каждому значению диагностического параметра только одного вполне определенного значения параметра выходного процесса (состояния диагностируемого объекта). Требование однозначности предусматривает соблюдение условия, когда каждому значению структурного или функционального параметра соответствует одно – единственное значение диагностического параметра. Так, параметры кривых 1 и 2 (см. рисунок 1) не соответствуют критерию однозначности, а параметр 3 – соответствует. Значению диагностического параметра  $D_3$  – только один,  $D_1$  и  $D_2$  – несколько значений, т.е. неизвестно где.

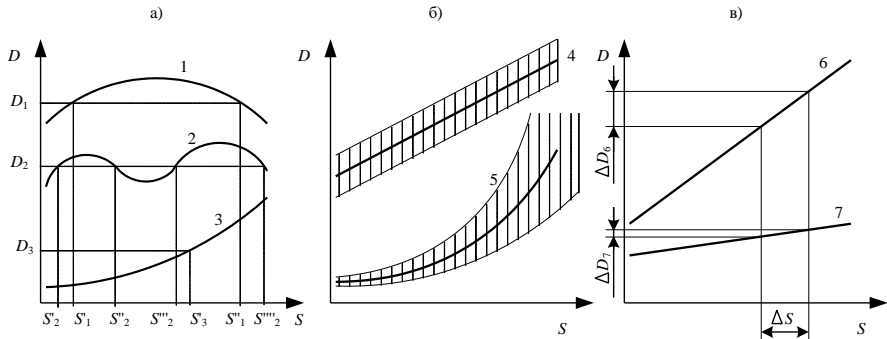


Рисунок 1 – Диаграмма однозначности (а), шириты измерения (стабильности) (б) и чувствительности (в) диагностических параметров  $D$  по отношению к структурному параметру  $S$ :

- 1, 2 – кривая неоднозначной зависимости; 3 – кривая однозначной зависимости; 4 – равный коридор рассеивания; 5 – возрастающий коридор рассеивания; 6 – кривая большей шириты изменения; 7 – кривая меньшей шириты изменения

Требование *широты измерения (стабильности)* устанавливает возможную величину отклонения диагностического параметра от своего среднего значения, характеризующую рассеивание параметра при неизменных значениях структурных параметров и условиях их измерения.

*Чувствительность* – это наибольшее отклонение диагностического параметра при заданном изменении структурного параметра. Она характеризуется отношением изменения диагностического параметра к соответствующему структурному параметру.

*Техническое состояние объекта* – состояние, которое характеризуется в определённый момент времени, при определенных условиях внешней среды, значениями параметров, установленных технической документацией на объект.

Параметры технического состояния узла, агрегата, элемента подразделяют по важности на две группы. К *первой группе* относятся параметры, связанные с безопасностью эксплуатации транспортного средства, а также параметры, от которых зависят эргономические показатели – шум, вибрация, токсичность отработавших газов. Как правило, диагностические параметры этих механизмов хорошо отражают выходные (рабочие) показатели (тормозной путь, время срабатывания тормозов, содержание СО в отработавших газах и т.д.) и могут быть измерены непосредственно. Ко *второй группе* относятся параметры, связанные с технико-экономическими показателями, такие как расход топлива и др.

На изменение параметров технического состояния узла, агрегата или транспортного средства в целом влияет большое число конструктивных, производственных и эксплуатационных факторов.

К *конструктивным и производственным факторам* относятся качество изготовления, сборки, обкатки, конструктивные особенности и структура отдельных элементов и их взаимосвязь в транспортном средстве, а также физико-механические свойства применяемых материалов (твердость, шероховатость и т.п.).

К *эксплуатационным факторам* относятся режимы нагрузки, внешние климатические условия, способы и уровень проведения ТО и ТР, интенсивность использования транспортного средства в течение смены, суток, года, индивидуальные особенности оператора, управляющего транспортным средством, и т.д.

*Выходной параметр* – мера внешнего проявления (реакции) свойств объекта диагностирования. При диагностировании могут использоваться выходные параметры рабочих процессов объекта диагностирования (например, мощность, развиваемая двигателем машины и др.) и выходные параметры сопутствующих процессов (например, нагрев, вибрация узлов или создаваемый ими шум).

*Структурный параметр* – параметр, непосредственно характеризующий работоспособность объекта диагностирования (износ, зазор, натяг в сопряжениях и др. – непосредственно характеризуют работоспособность объекта диагностирования.).

*Диагностический (контролируемый) параметр* – параметр объекта, используемый при его диагностировании (контроле): температура, шум, вибрация, расход топлива, пульсация давления и др., косвенно характеризующий работоспособность объекта диагностирования.

*Доступность и удобство измерения* диагностического параметра определяются конструкциями объекта диагностирования и диагностического средства.

*Информативность параметра* определяется снижением неопределенности знаний о техническом состоянии объекта после использования информации по результатам диагностирования.

*Технологичность измерения параметра* определяется удобством подключения диагностической аппаратуры, простотой измерения и обработки результатов измерений. В целом технологичность измерения характеризует трудоемкость и стоимость диагностирования.

*Частный параметр* указывает на вполне определенную неисправность или отказ объекта диагностирования. Например, смещение порога срабатывания предохранительного клапана двигателя указывает конкретно на его разрегулировку.

*Общие параметры* характеризуют общее техническое состояние диагностируемого объекта. К числу общих параметров относятся, например, мощность и тяговое усилие тепловоза.

Каждый *независимый* параметр указывает на конкретную неисправность. Отдельный *зависимый* диагностический параметр не определяет неисправности или отказа.

*Зависимые параметры* можно определить при измерении и сопоставлении нескольких параметров.

По *характеру информации* параметры подразделяют на три группы:

– параметры, обеспечивающие получение информации о техническом состоянии диагностируемого объекта, но не характеризующие его функциональные возможности;

– параметры, обеспечивающие получение информации о функциональных возможностях диагностируемого объекта, но не дающие информации о его техническом состоянии;

– комбинированные параметры, обеспечивающие получение информации как о функциональных возможностях, так и о техническом состоянии объекта диагностирования.

Связи между *структурными* и *диагностическими* параметрами могут быть:

– *простейшими* (когда одному структурному параметру соответствует один диагностический, и наоборот),

– *множественными* (одному структурному параметру соответствует несколько диагностических), неопределенными (одному диагностическому параметру соответствует несколько структурных) и комбинированными.

## 2.12 Методы диагностирования

Для диагностирования изделия, оборудования применяются различные методы:

– *органолептические*, которые основаны на использовании органов чувств человека (осмотр, слушивание);

– *структурный* – обеспечение приспособленности структуры объекта к контролю и поиску дефектов путем введения минимального числа контрольных точек как для штатных приборов систематического контроля, так и для приборов периодического пользования;

– *алгоритмический* – разработка алгоритмов, направленных на сокращение трудоемкости контроля и поиска дефектов и обеспечивающих эффективность контроля на выбранной совокупности параметров состояния и соответствующих средств измерения;

– *физические*, которые принято называть методами неразрушающего контроля. Они основаны на использовании различных физических явлений, сопутствующих работоспособным и неработоспособным состояниям

объектов. Физические методы, в свою очередь, могут быть разделены также на две группы. Одна из этих групп используется для контроля деталей объектов при их нерабочем состоянии, а вторая — при статических режимах работы объектов контроля.

Физические методы обеспечивают выявление недопустимых износов и повреждений в сопряженных подвижных деталях механизмов (подшипниках, кривошипных механизмах). К таким методам относятся тепловые и акустические, методы статической обработки случайных колебаний выходных параметров объектов контроля.

Физические методы контроля включают следующие виды:

– *оптический*, который основан на применении оптических приборов для осмотра наружных и внутренних поверхностей деталей и агрегатов. При этом выявляются такие дефекты, как коррозия, раковины, трещины, вмятины, местный наклеп, подгары, окисления, следствия электрической эрозии деталей электрических и других устройств. Применение различных оптических приборов для осмотра труднодоступных мест на агрегатах и приборах сокращает время и трудозатраты на проверку состояния подвижного состава;

– *капиллярные*, основанные на капиллярном проникновении специальных индикаторных жидкостей в полости поверхностей и сквозных несплошностей объектов контроля (трубопроводов, герметических сосудов, корпусов электрических аппаратов и их деталей и т. п.) и регистрации образующихся индикаторных следов визуальным способом или с помощью специального проявителя;

– *метод вихревых токов*, обеспечивающий контроль на отсутствие следов повреждений в деталях из магнитных и немагнитных материалов: трещин под слоем лакокрасочного покрытия или окислов и смазок, подповерхностных и поверхностных пустот, посторонних включений в материале детали на глубине до 1 мм. Выявляются поверхностные трещины длиной от 0,6 мм и шириной не менее 0,01 мм;

– *ультразвуковые*, основанные на способности ультразвуковых колебаний распространяться в материале детали в виде направленных пучков и отражаться как от границ раздела сред: от противоположной поверхности детали, от внутренних дефектов – трещин, раковин, расслоений и т. п. Метод обеспечивает контроль деталей, изготовленных из любых материалов, обнаруживает поверхностные и внутренние дефекты деталей, дефекты пайки, склеивания. При этом могут быть не только выявлены дефекты, но и определены их размеры и координаты положения;

– *радиационные*, основанные на использовании проникающих излучений: рентгеновских, гамма-лучей радиоактивных изотопов, бета-лучей и



нейтронных. Дефекты в материалах контролируемых деталей определяются в результате оценки степени ослабления интенсивности излучений при прохождении их через деталь. Так, проникающие излучения, прошедшие через плотный материал, имеют меньшую интенсивность по сравнению с лучами, встретившими на своем пути раковины, трещины, рыхлоты;

– *тепловые*, которые применяются для проверки работоспособности электрических устройств при рабочих режимах работы этих устройств и основаны на анализе теплового (инфракрасного) излучения элементов, деталей или всего устройства. Интенсивность теплового излучения зависит от электрических характеристик элементов устройства, от их технического состояния. Работоспособное устройство имеет определенную картину излучений. Изменение этой картины свидетельствует об изменении режима работы, технического состояния элементов устройства. Увеличение интенсивности теплового излучения отдельных деталей, элементов электрической схемы может быть следствием их перегрева, связанного с появлением дефектов. Своевременное обнаружение этих дефектов позволяет принять меры, исключающие отказ всего устройства. В зависимости от способа получения характеристик излучения тепловые методы контроля делятся на *контактные* и *бесконтактные*;

– *акустические*, основанные на измерении и анализе характеристик шумов механизмов. Техническое состояние различных механизмов и машин может быть оценено по таким параметрам, как шум и вибрации в процессе их работы, которые являются следствием деформации и напряжении в деталях, взаимодействиях деталей друг с другом и с внешней средой. Шум характеризует как общие свойства машины, так и свойства ее отдельных элементов;

– *параметрические*, которые основаны на измерении, соответствующем функции преобразования результатов измерений и оценке выходных и внутренних параметров объектов контроля. Эти методы обеспечивают контроль объектов в их нерабочих состояниях, в статических и динамических режимах работы. К параметрическим относятся методы контроля работоспособности отдельных элементов электрических схем объектов – резисторов, реактивных сопротивлений, контактов, изоляции и т. п. Как правило, эти элементы контролируются в нерабочих состояниях объектов. В статических и динамических режимах работы контролируются соответственно статические и динамические характеристики выходных параметров объектов контроля;

– *контроль по статическим характеристикам*, основанный на том, что несоответствие любой из них допустимому диапазону значений в заданных условиях свидетельствует о неработоспособном состоянии объекта контроля;

– *специфические* для каждой из областей техники (например, при диагностировании гидропривода широко применяется *статопараметрический* метод, основанный на анализе задресселированного потока жидкости; в электротехнике применяют методы, основанные на *анализе параметров электрических сигналов*, и т. д.).

### **2.13 Характеристика транспортного средства как объекта диагностирования**

При организации системы диагностирования необходимо учитывать следующие **особенности транспортного средства** как объекта диагностирования:

– большое разнообразие систем транспортного средства (механические, электрические, гидравлические и т.д.), что затрудняет получение универсальных решений при выборе методов и технических средств диагностирования, а также требует построение алгоритмов и программы диагностирования с учетом их конструктивных особенностей;

– наличие как дискретных, так и непрерывных систем, определяющих различный подход при решении задач диагностирования. При диагностировании дискретных систем используются методы формальной логики, в системах непрерывного действия – непрерывное отклонение параметров;

– различный уровень надежности систем транспортного средства, затрудняющий организацию процесса диагностирования и принятие решений при определении их технического состояния;

– различные режимы работы оборудования (длительный, кратковременный, повторно-кратковременный), что вызывает необходимость согласования периодичности его диагностирования;

– высокая степень автоматизации основных систем транспортного средства, требующая автоматизации процесса диагностирования;

– различные функциональные состояния транспортного средства (подготовка к эксплуатации, эксплуатация, ремонт), влияющие на выбор задач и глубину диагностирования, а также на степень использования технических средств диагностирования;

– сложность структуры транспортного средства, обуславливающая выбор принципа его декомпозиции при организации системы диагностирования. Принципы декомпозиции транспортного средства могут быть различными в зависимости от типа задач, решаемых при диагностировании.

### **2.14 Диагностические модели**

*Диагностическая модель* – формализованное описание объекта, необходимое для решения задач диагностирования.

В качестве диагностических моделей могут рассматриваться дифференциальные уравнения, логические соотношения, диаграммы прохождения сигналов и др. По методам представления взаимосвязей между состоянием объекта, его элементами и параметрами диагностические модели подразделяют на следующие виды: непрерывные, дискретные, специальные.

Выбор диагностических моделей производится с учетом специфики объекта; условий использования; методов диагностирования.

Техническое диагностирование использует технические математические модели. Отличие диагностических моделей от обычных математических моделей, которые отражают номинальный режим функционирования объекта или системы управления, состоит в том, что диагностическая модель описывает существенные свойства аварийных режимов, вызванных различными отказами. Объект или система при разработке диагностической модели рассматриваются по следующей схеме (рисунок 2):

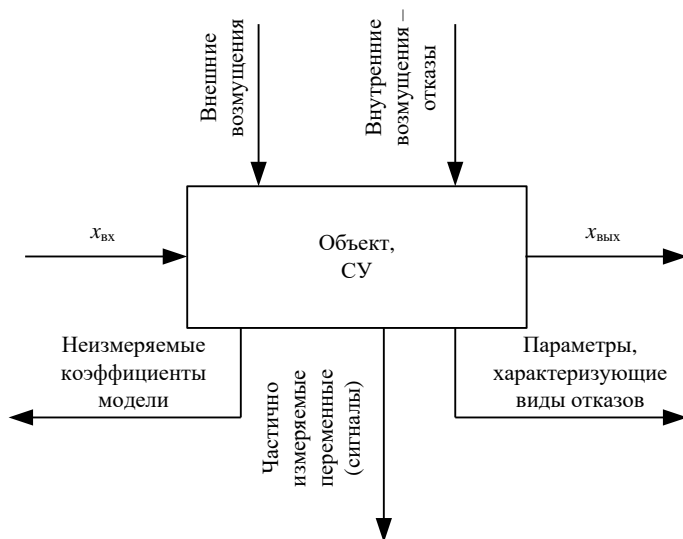


Рисунок 2 – Схема разработки диагностической модели объекта или системы управления

По способу реализации можно выделить модели:

1 *Физические*, воспринимаемые органами чувств человека:

– масштабные – уменьшенные или увеличенные копии (модель самолета

или корабля);

– аналоговые – механические, гидравлические, электронные;

– виртуальные – отображаемые на мониторе в графической и цифровой формах, в том числе, модели, созданные в специализированных программах (VisSim, MBTY, MVS и др.), некоторые электронные игры, например, автогонки;

– макеты (муляжи), в т.ч. детские игрушки и т.п.

2 *Математические*, воспринимаемые умом, интеллектом человека:

– аналитические – набор формул, например система уравнений в переменных состояния;

– алгоритмические – задаются в виде алгоритма, связывающего выходные и внутренние сигналы модели со входными.

**По степени соответствия реальному объекту** различают модели:

– адекватные по точности, отображающие в области своей применимости с необходимой (заданной) точностью реальный объект;

– физически состоятельные – истинные по Клиначёву Н. В., опирающиеся на физические законы, характеризующие объект управления в области их применимости;

– аппроксимации – ложные по Клиначёву Н. В., построенные на основе приближенных или эмпирических формул, характеризующих объект.

**По назначению** (по способности работать в реальном времени) выделяют модели:

– отличающиеся от реального времени (используются для изучения свойств реальных объектов и систем в ускоренном или замедленном виде);

– реального времени (real-time или hardware-in-loop модели), являющиеся составной частью реальной системы (используются либо для управления ею, либо для отладки).

**По степени точности решателя** существуют модели:

– графические – 5–10 %.

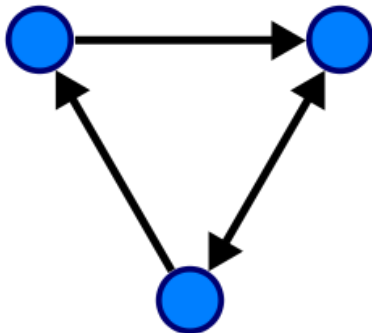
– аналоговые – 0,01–1 %.

– компьютерные, рассчитываемые процессором с фиксированной точкой (проявляется эффект квантования параметров) – 0,1–0,01 % и с плавающей точкой (не проявляется эффект квантования параметров) – 0,1–0,00 % (в мантиссе до 20 десятичных разрядов).

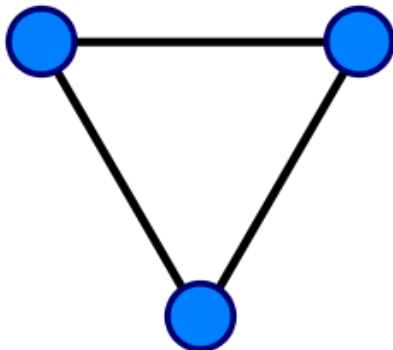
**По типу графов** различают модели:

– на основе *направленных графов* (модели программ VisSim, Simulink, MBTY), рёбрам которого присвоено направление. Направленные рёбра именуются также *дугами*. В математической теории графов и информатике граф – это совокупность непустого множества вершин и множества пар вершин.

Объекты представляются как вершины, или узлы графа, а связи – как дуги, или рёбра. Граф имеет вид



– на основе *ненаправленных графов* (модели программы Electronics Workbench). В определении ребра можно принимать или не принимать во внимание порядок расположения двух его концов. Если этот порядок несуществен, т.е. если  $E=(a, b)=(b, a)$ , то говорят, что  $E$  есть неориентированное ребро. Вид графа:



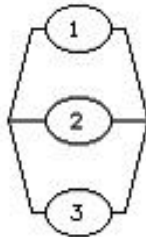
**По виду направленного графа** существуют модели:

– с *последовательным графом*. Если два или несколько загрузений должны действовать одновременно, то они должны быть оформлены в виде последовательной системы дуг:

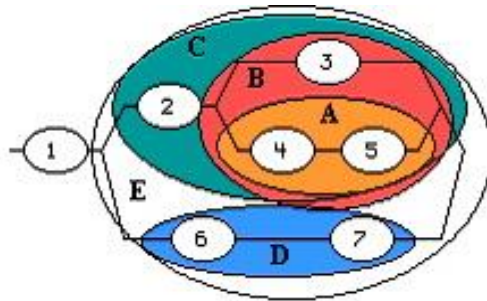


– с *параллельным графом*. При составлении графа следует пользоваться простым правилом: если два или несколько загрузений не могут действо-

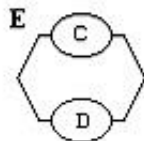
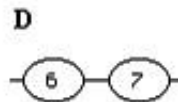
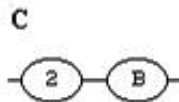
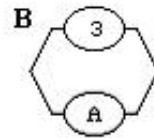
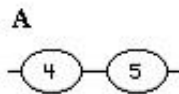
вать одновременно, то они должны быть оформлены в виде параллельной системы дуг, например:



Графы, изображенные выше, называются элементарными графами. Комбинируя различным образом систему элементарных графов можно получить достаточно сложный граф. Рассмотрим пример графа:

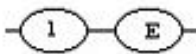


Для наглядности элементарные графы выделены различными цветами и им даны имена:



Следуя тому же принципу, дадим основному графу имя  $F$ , который те-

перь можно изобразить в виде элементарного последовательного графа:



Как видно, достаточно сложный граф, изображенный выше, можно свести к системе элементарных графов. Теперь, наряду с цифрами в кружках, обозначающими номера загружений, появились буквы, обозначающие более сложные объекты – обобщенные дуги.

Таким образом, достаточно уметь описывать элементарный параллельный и последовательный графы, чтобы записать граф любой категории сложности.

**По степени сложности модели могут характеризоваться:**

- 1 Порядком ее системы уравнений.
- 2 Степенью вложенности блоков, т.е. количеством иерархических уровней.
- 3 Количеством иерархически подчиненных субмоделей.

**По реализуемости** модель может быть реализуемой и нереализуемой.

Это далеко не весь спектр классификаций моделей технического объекта.

## 2.15 Алгоритмы технического диагностирования

*Алгоритм технического диагностирования* (контроля технического состояния) – совокупность предписаний, определяющих последовательность действий при проведении диагностирования (контроля).

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

Различают *безусловные алгоритмы диагностирования* (контроля), у которых порядок выполнения элементарных проверок определен заранее, и *условные алгоритмы диагностирования* (контроля), у которых выбор очередных элементарных проверок определяется результатами предыдущих.

Если диагноз составляется после выполнения всех элементарных проверок, предусмотренных алгоритмом, то последний называется *алгоритмом с безусловной остановкой*. Если же анализ результатов делается после выполнения каждой элементарной проверки, то алгоритм является *алгоритмом с условной остановкой*.

*Диагностическое обеспечение* – комплекс взаимодействующих правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления

диагностирования на всех этапах жизненного цикла объекта.

### **Вопросы к зачету по дисциплине «Основы теории надежности и диагностики. Часть 1»**

1 Проблема надежности и причины её возникновения.

2 Надежность. Безотказность. Долговечность. Сохраняемость.

3 Среднее время восстановления. Время восстановления. Коэффициент готовности.

4 Коэффициент простоя. Коэффициент ремонтпригодности. Коэффициент стоимости эксплуатации. Технический ресурс.

5 Единичный показатель надежности. Назначенный ресурс. Остаточный ресурс. Срок службы.

6 Комплексный показатель надежности. Коэффициент готовности. Коэффициент оперативной готовности. Коэффициент технического использования.

7 Коэффициент сохранения эффективности. Нарботка. Нарботка до отказа. Средняя наработка до отказа. Вероятность безотказной работы. Интенсивность отказа.

8 Расчетный показатель надежности. Экспериментальный показатель надежности. Эксплуатационный показатель надежности. Экстраполированный показатель надежности.

9 Надежность. Безопасность. Живучесть.

10 Программа обеспечения надежности. Определение надежности. Контроль надежности. Расчетный метод определения надежности. Расчетно-экспериментальный метод определения надежности. Экспериментальный метод определения надежности.

11 Эксплуатационная оценка надежности. Минимальное, максимальное время наработки на отказ. Среднее квадратичное отклонение.

12 Срок сохраняемости. Средний срок службы. Назначенный ресурс. Назначенный срок службы. Назначенный срок хранения.

13 Испытание. Определительные испытания на надежность. Контрольные испытания. Исследовательские испытания. Доводочные испытания.

14 Испытания. Предварительные испытания. Приемочные, нормальные, ускоренные и форсированные испытания на надежность.

15 Испытание. Разрушающие, неразрушающие испытания. Натурные испытания. Макет для испытаний. Модель для испытаний.

16 Испытание. Лабораторные испытания. Полигонные испытания. Эксплуатационные испытания на надежность. План испытаний на надежность. Объем испытаний на надежность.



17 Нормирование надежности. Нормируемый показатель надежности. Длительность гарантийного срока эксплуатации.

18 Техническая диагностика. Техническое диагностирование. Технический диагноз. Дефект. Повреждение. Сбой.

19 Объект технического диагностирования. Элемент. Система. Элемент системы. Техника. Изделие.

20 Техническая диагностика. Техническое диагностирование. Жизненные циклы объекта.

21 Исправность. Неисправность. Работоспособность. Неработоспособность. Правильное функционирование.

22 Параметр технического состояния. Номинальное, предельное и допускаемое значение параметра.

23 Диагностический и структурный параметр. Измерение. Достоверность диагностирования. Условная вероятность необнаруженного отказа. Условная вероятность ложного отказа. Последствия ошибки.

24 Прогнозирование. Нарботка. Нарботка на отказ. Остаточный ресурс. Работоспособность. Надежность. Безотказность.

25 Долговечность. Ремонтопригодность. Сохраняемость. Контролепригодность.

26 Способы повышения контролепригодности транспортного средства. Требования к конструктивному исполнению. Оперативные и экономические критерии.

27 Приспособленность объекта к диагностированию. Конструктивная, схематическая, текстовая контролепригодность.

28 Продолжительность, достоверность, полнота технического диагностирования. Глубина поиска места отказа.

29 Техническое обслуживание. Восстановление. Ремонт. Обслуживаемый, необслуживаемый, восстанавливаемый, невосстанавливаемый, ремонтируемый, неремонтируемый объект.

30 Рабочее, тестовое техническое диагностирование. Экспресс диагностирование. Средства технического диагностирования.

31 Задачи технического диагностирования.

32 Принципы реализации методов диагностирования.

33 Диагностический параметр. Контролируемый параметр. Прямой, косвенный диагностический параметр. Диагностический признак.

34 Основные требования к диагностическим параметрам (требования однозначности, стабильности, широты изменения).

35 Техническое состояние объекта. Две группы параметров технического состояния объекта диагностирования. Конструктивные, производственные и эксплуатационных факторы влияющие на изменение параметров технического состояния объекта.

36 Выходной, структурный, диагностический, контролируемый параметр. Доступность и информативность параметра. Технологичность измерения параметра.

37 Частный, общий, зависимый, независимый диагностический параметр. Информативность параметра. Виды связей между структурными и диагностическими параметрами.

38 Методы диагностирования. Органолептические методы. Структурный метод. Алгоритмический метод. Физические методы.

39 Характеристика транспортного средства как объекта диагностирования.

40 Диагностические модели. Классификация диагностических моделей (физические, математические, адекватные по точности, физически состоятельные, аппроксимации).

41 Диагностические модели. Классификация диагностических моделей (по назначению, по степени точности, по типу графов).

42 Модели с графами. Модели с последовательным и параллельным графом. Характеристика моделей по степени сложности.

43 Алгоритм технического диагностирования. Безусловные, условные алгоритмы диагностирования.

44 Диагностическое обеспечение. Диагностическая модель. Выбор диагностических моделей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения : ГОСТ 27.002-89. – Введ. 1990-07-01. – М. : Стандартинформ, 2009. – 32 с.

2 Техническая диагностика. Термины и определения. ГОСТ 20911-89. – Введ. 1991-01-01. – М. : Стандартинформ, 2009. – 34 с.

3 **Проников, А. С.** Надежность машин / А. С. Пронков. – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.

4 Технические средства диагностирования : справ. / В. В. Клюев [и др.]; под общ. ред. В. В. Клюева. – М. : Машиностроение, 1989. – 672 с.

5 **Хазов, Б. Ф.** Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования / Б. Ф. Хазов. – М. : Машиностроение, 1986. – 224 с.

6 Надежность и эффективность в технике: справ. : в 10 т. / ред. совет: В. С. Авдудевский (пред.) [и др.]. – М. : Машиностроение, 1987. – 280 с.

7 Надежность технических систем : справ. / Ю. К. Беляев [и др.] / под ред. И. А. Ушакова. – М. : Радио и связь, 1985. – 608 с.

8 **Кириченко, И. А.** Диагностика транспортных средств : конспект лекций / И. А. Кириченко, А. Н. Киреев; Восточноукраинский национальный ун-т им. Владимира Даля. Кафедра метрологии. – Луганск, 2007. – 65 с.

Учебное издание

*ДОДОЛЕВ Сергей Григорьевич*  
*ХОЛОДИЛОВ Олег Викторович*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКИ

Учебно-методическое пособие

Редактор И. И. Эвентов  
Технический редактор В. Н. Кучерова

Подписано в печать 08.08.2013 г. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,65. Тираж 100 экз.  
Зак. № \_\_\_\_\_. Изд. № 80.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный университет транспорта:  
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.  
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.  
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34