

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Владимирский государственный университет  
Кафедра управления качеством и технического регулирования

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО КУРСУ  
«МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»

Составители  
В.Н. РОМАНОВ  
И.Е. СУСЛОВ

Владимир 2007

УДК 621.753(076) + 658.516(076.5)

ББК 39.33

М54

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент  
Владимирского государственного университета

*В.П. Фролов*

Кандидат педагогических наук, доцент  
Владимирского государственного педагогического университета

*Е.С. Цикало*

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Владимирского государственного университета

**Методические** указания к практическим занятиям по курсу «Методы и средства диагностирования автотранспортных средств» / Владим. гос. ун-т ; сост.: В.Н. Романов, И.Е. Су-  
слов. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – 52 с.

Приведены материалы практических занятий по следующим темам курса «Методы и средства диагностирования автотранспортных средств»: оптимизация выбора измерительных средств диагностирования, разработка методики выполнения измерений, методы поверки средств диагностики и локальные поверочные схемы, разработка методики поверки средств технической диагностики АТС, оптимизация межповерочных интервалов СИ. Семь дополнительных занятий, которые имеют своей целью помочь студенту усвоить исходные положения теории надежности и диагностики и получить первые навыки практических расчетов показателей надежности применительно к автомобильному транспорту.

Составлены в соответствии с программой курса «Методы и средства диагностирования автотранспортных средств» для специальностей 220501, 200503, 200501. Предназначены для студентов дневной формы обучения названных специальностей.

Ил. 7. Табл. 11 . Библиогр.: 18 назв.

УДК 621.753(076) + 658.516(076.5)

ББК 39.33

Порядок выполнения курсовой работы по данной дисциплине изложен в практических занятиях № 1-№ 5. Название курсовой работы «Разработка метрологического обеспечения процесса диагностирования параметров безопасности автотранспортных средств». Конкретный диагностический параметр выдается каждому студенту преподавателем персонально. Практические занятия № 6-№ 12 выполняются в тетради в соответствии с номером студента в учебном журнале.

## **Практическое занятие № 1**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

**Цель работы.** Изучение общих принципов выбора средств измерений (СИ) для диагностирования автотранспортных средств (АТС), а также выбор СИ по коэффициенту уточнения и с учетом безошибочности контроля и стоимости средств измерений.

#### **1. Общие принципы выбора средств измерений**

При выборе средств измерений учитывают совокупность метрологических (цена деления, погрешность, пределы измерений, измерительное усилие), эксплуатационных и экономических показателей, к которым относятся: массовость (повторяемость измеряемых размеров) и доступность их для контроля; стоимость и надежность СИ, метод измерения; время, затрачиваемое на настройку и процесс измерения; масса, габаритные размеры, рабочая нагрузка; жесткость объекта контроля, шероховатость его поверхности; режим работы и т.д.

Некоторые общие принципы выбора на основании накопленного опыта сводятся к следующим положениям:

I. Для гарантирования заданной или расчетной относительной погрешности измерения  $\delta_{и}$  относительная погрешность СИ  $\delta_{СИ}$

должна быть на 25 – 30 % ниже, чем  $\delta_{и}$  (т.е.  $\delta_{СИ} = 0,7\delta_{и}$ ). Если известна приведенная погрешность  $\gamma_{и}$  измерения, то приведенная погрешность СИ

$$\gamma_{СИ} = \gamma_{и} \frac{\chi}{\chi_N},$$

где  $\chi$  и  $\chi_N$  – результат измерения и нормированное значение шкалы СИ.

II. Выбор СИ при диагностировании АТС зависит от количества находящихся в эксплуатации однотипных объектов, подлежащих контролю или измерению, а также объема необходимой измерительной информации и обеспечения безопасности.

III. При выборе СИ по метрологическим характеристикам необходимо учитывать следующее:

1) если параметр диагностирования неустойчив или имеет большую вариацию при переходе от объекта к объекту (типа АТС), т.е. возможны существенные отклонения измеряемого параметра за пределы поля допуска, то нужно, чтобы пределы шкалы СИ превышали диапазон рассеяния значений параметра;

2) цена деления шкалы должна выбираться с учетом заданной точности измерения. Например, если размер нужно контролировать с точностью до 0,01 мм, то и средство измерения нужно выбирать с ценой деления 0,01 мм, так как средство измерения с более грубой шкалой внесет дополнительные субъективные погрешности;

3) поскольку качество измерения определяется величиной относительной погрешности  $\delta = (\pm \Delta/x) 100 \%$ , т.е. с уменьшением  $x$  величина  $\delta$  увеличивается (качество измерения ухудшается). Следовательно, качество измерений на разных участках шкалы неодинаково.

Поэтому при измерениях рабочий участок шкалы средства измерения должен выбираться по правилу: относительная погрешность в пределах рабочего участка шкалы не должна превышать приведенную погрешность более чем в 3 раза ( $\delta \leq 3\gamma$ ). Из этого правила следует: а) при односторонней равномерной шкале с нулевой отметкой в ее начале рабочий участок занимает последние две трети длины шкалы; б) при двусторонней шкале с нулевой отметкой по середине – последнюю треть каждого сектора; в) при шкале без нуля рабочий участок может распространяться на всю длину шкалы.

В пределах рабочего участка шкалы наибольшая возможная абсолютная погрешность равновероятна на всех отметках. Таким

образом, при выборе средства измерения важно определить рабочий участок шкалы и цену ее деления. Последняя зависит от класса точности средства измерения и числа  $nq$  ступеней квантования.

IV. К регистрирующей аппаратуре предъявляются следующие основные требования:

– сигнал, проходящий через средство измерения, должен сохранять необходимую информацию, не подвергаться искажению и отделяться от помех;

– СИ должны потреблять минимум энергии от объекта измерения и их подключение не должно нарушать его нормальной работы. Особые требования предъявляются к точности и чувствительности средств измерений, так как низкие показатели сведут на нет все усилия по повышению точности измерений;

– СИ должны иметь достаточный объем для регистрации всех необходимых значений параметра;

– СИ должны обеспечивать получение информации в необходимые сроки.

Если средство измерения не может одновременно удовлетворять всем предъявляемым требованиям, то выбираются наиболее важные из них, позволяющие наилучшим образом справиться с выполнением поставленной задачи.

## 2. Выбор средства измерения по коэффициенту уточнения

Это самый простой способ, предусматривающий сравнение точности измерения и точности функционирования объекта контроля. При выборе СИ данным способом предполагается введение коэффициента точности (уточнения)  $K_T$  при известном допуске на параметр  $T$

$$K_T = \frac{T}{2\Delta_{\text{изм}}}, \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{изм}} = T \cdot R, \quad (2)$$

где  $R$  – относительная погрешность метода измерений, которую выбирают из ряда 0,5; 0,4; 0,3; 0,25; 0,2; 0,15; 0,1 в зависимости от того, насколько важна точность измерительной информации.

Подставляя (2) в (1), получим:

$$K_T = \frac{1}{2R}.$$

Предел основной допускаемой погрешности СИ находят по следующей формуле:

$$\Delta_d = \frac{T}{2,6K_r} = \frac{R \cdot T}{1,3} \geq \Delta_{\text{СИ}}. \quad (3)$$

Затем по каталогам или справочникам выбирают средство измерения с такой погрешностью, которая удовлетворяла бы данному неравенству.

*Пример.* Выбрать СИ для измерения давления в системе смазки двигателя  $P=0,8 \pm 0,02$  МПа. Выберем  $R=0,3$ , что характеризует среднюю точность измерительной информации, и воспользуемся формулой (3)

$$\Delta_d = \frac{0,3 \cdot 0,04}{1,3} \approx 0,009 \text{ МПа}. \quad (4)$$

Так как наиболее широкое распространение получило нормирование класса точности СИ по приведенной погрешности, то результат (4) представляем в виде приведенной погрешности

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_{\text{max}}} 100\% = \pm \frac{0,009}{0,82} 100\% \approx \pm 1\%,$$

где  $X_{\text{max}}$  – максимальное значение измеряемой величины.

Из каталога фирмы-распространителя СИ давления выбираем такое средство измерения, чтобы его класс точности был  $\leq 1\%$ . В нашем каталоге подходит датчик давления КТР 5 с классом точности 1.

### **3. Выбор средства измерения с учетом безошибочности контроля и его стоимости**

Выбор СИ с учетом безошибочности контроля и его стоимости осуществляется как метод оптимизации по критериям точности (классу точности  $\gamma$  или абсолютной предельной погрешности  $\Delta_{\text{СИ}}$ ) СИ, его стоимости  $C_{\text{СИ}}$  и достоверности измерения. Целевая функция  $G$ , определяющая минимум вероятности неверного заключения  $P_{\text{н.з}} = P_{\text{I}} + P_{\text{II}}$  и минимум стоимости при оптимальном классе точности, имеет вид:

$$G = \min [P_{\text{н.з}}/P_{\text{н.з0}} + C/C_0],$$

где  $C/C_0$  – относительное значение стоимости СИ,  $C_0$  – соответственно максимальное значение стоимости СИ,  $P_{\text{н.з}}/P_{\text{н.з0}}$ ,  $P_{\text{н.з0}}$  – относительная и максимальная вероятности неверного заключения.

*Пример.* Выбрать СИ для контроля давления в системе смазки двигателя в пределах  $0,8 \pm 0,02$  МПа. Рассмотрим четыре средства измерений и оценим отношение  $\mu = 2\Delta_{\text{изм}}/T$ . Погрешность измерения  $\Delta_{\text{изм}} = \frac{\gamma \cdot X_{\text{max}}}{100}$ , где  $\gamma$  – класс точности СИ,  $X_{\text{max}}$  – максимальное значение измеряемого параметра (0,82 МПа). Далее найдем  $P_I$  и  $P_{II}$  по номограмме определения  $P_I$  и  $P_{II}$  при нормальных законах распределения контролируемого параметра и погрешности измерения, опубликованной в [17]. Затем вычислим  $P_{\text{н.з}}$  для средств измерения давления (табл. 1). Эти значения определим для максимальных (наихудших) значений кривых  $2\Delta_{\text{изм}}/T$ , так как действительные значения технологического рассеяния  $\sigma_{\text{изг}}$  неизвестны. Затем охарактеризуем отношение  $P_{\text{н.з}i}/P_{\text{н.з}0}$ ,  $C_i/C_0$ ,  $G_i = [P_{\text{н.з}i}/P_{\text{н.з}0} + C/C_0]$  и построим график  $G=f(\gamma)$  для СИ давления (рис. 1).

*Таблица 1*

Расчетные значения вероятностных показателей средств измерения давления

Тип средства измерения	Класс точности $\gamma$	Погрешность измерения $\Delta_{\text{изм}}$ , МПа	$2\Delta_{\text{изм}}/T$	Вероятность неверного заключения $P_{\text{н.з}}$	$P_{\text{н.з}i}/P_{\text{н.з}0}$	$C/C_0$	Целевая функция $G$
Датчик давления серии 2088 компании Rosemount	0,2	0,0016	0,08	0,01	0,2	1	1,2
Датчик давления МС2000-2151	0,5	0,004	0,2	0,025	0,5	0,5	1
Преобразователь давления КТР 5	1	0,008	0,4	0,05	1	0,3	1,3
Преобразователь давления МТ100Р	0,25	0,002	0,1	0,013	0,26	0,84	1,1

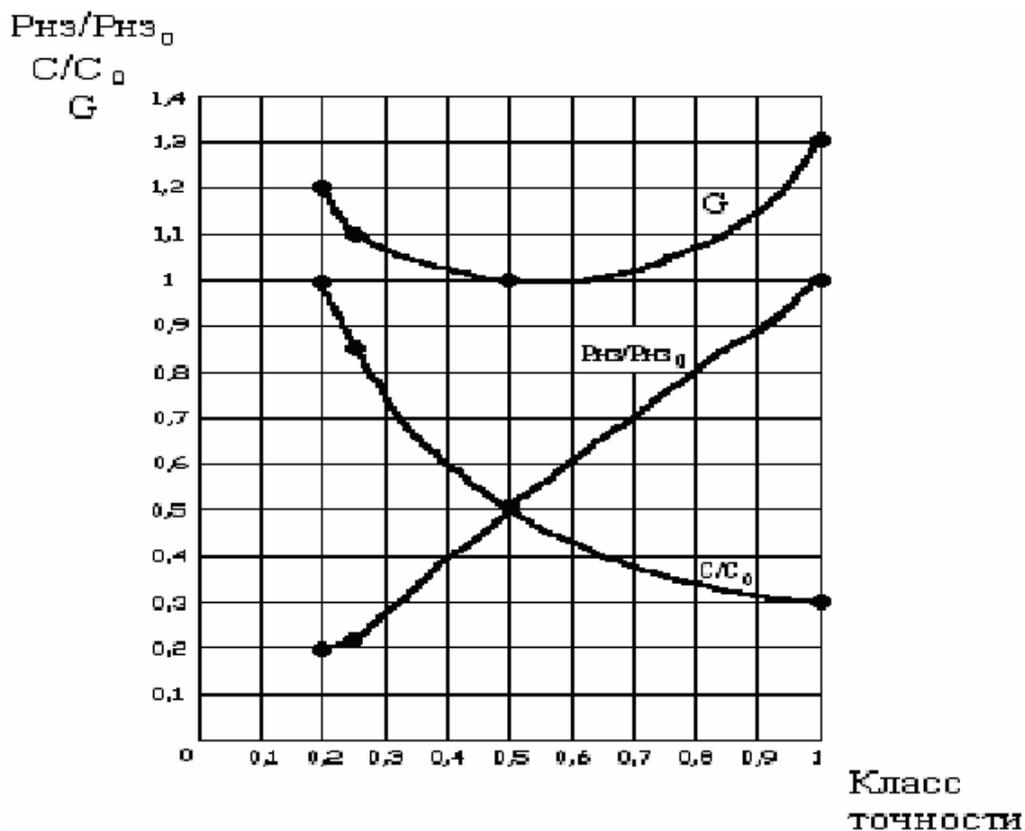


Рис. 1. Оптимизация выбора СИ давления

Из графика видно, что оптимальное значение точности СИ для измерения давления соответствует классу точности 0,5, то есть выбор останавливаем на датчике давления МС2000-2151.

## Практическое занятие № 2 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

**Цель работы.** Получение практических навыков разработки методики выполнения измерений (МВИ) диагностируемых параметров.

### Основные положения

Методики выполнения измерений определяют качество измерений, разрабатываются и применяются с целью обеспечения измерений физических величин с точностью, правильностью и достоверностью, удовлетворяющих регламентированным для них нормам. Аттестация МВИ и контроль реализации МВИ являются конечными этапами метрологической деятельности, направленной на обеспечение единства измерений. К применению допускаются реализации аттестованных методик выполнения измерений.

# 1. Методические указания по разработке методики выполнения измерений

## 1. Формирование исходных данных для разработки МВИ

Исходные данные для разработки МВИ включают:

- назначение МВИ;
- характеристики измеряемой величины;
- нормы точности и правильности измерений;
- условия измерений;
- характеристики объекта измерений.

Назначение МВИ включает описание измеряемой величины (ответ на вопрос «что измеряют?») и использования результата измерений (ответ на вопрос «для чего измеряют?»); величин, подверженных измерениям, связи между ними и результатом измерений.

Пример: измеряемая величина – температура в системе охлаждения двигателя.

Характеристики измеряемой величины включают диапазон значений измеряемой величины и данные о ее возможных изменениях в процессе измерений.

Пример: температура в системе охлаждения двигателя, °С, должна находиться в пределах от 80 до 95 °С.

В качестве норм точности измерений приводят данные, характеризующие погрешности измерений, погрешности СИ, допуски и т.д.

Пример: предел основной абсолютной погрешности СИ температуры охлаждающей жидкости по ГОСТ 18509-88 равен  $\pm 3$  °С.

Условия измерений задают в виде диапазонов значений влияющих величин (климатических, механических, электрических и др.).

Пример:

диапазон температуры окружающего воздуха, К, ... 288 – 298;  
относительная влажность воздуха, %, ... 50 – 80.

В качестве характеристик объекта измерений приводят диапазоны значений неизмеряемых параметров модели объекта измерений, которые могут влиять на качество измерений.

Пример: подача насоса в системе охлаждения  $190 \pm 5,6$  л/мин.

2. Документ на МВИ должен содержать вводную часть и разделы, расположенные в следующем порядке (табл. 2).

## Порядок составления документации на МВИ

№ п/п	Наименование части документа	Содержание	Пример описания
1	Вводная часть	Установление назначения и области применения документа на МВИ	Настоящая методика устанавливает МВИ температуры в системе смазки двигателя ЯМЗ-238 при диагностировании двигателя
2	Нормы точности и правильности измерений	Установление требований к точности и правильности измерений	Реализация данной МВИ обеспечивает выполнение измерений с максимально допустимым отклонением показаний от измеряемой величины, не превышающим $\pm 3$ °С
3	Средства измерений и вспомогательные устройства	Установление перечня СИ и вспомогательных устройств, применяемых при выполнении измерений	При выполнении измерений применяют следующие СИ: Психрометр аспирационный МВ-4М: диапазон измерения относительной влажности воздуха при температуре окружающей среды от -10 до +40°С, в %, от 10 до 100; диапазон измерения температуры воздуха, в °С, от -30 до +50; цена деления шкал термометров, °С, не более 0,2. Барометр-анероид БАММ-1: диапазон измерения атмосферного давления от 80 до 107 кПа; предел допускаемой погрешности, кПа, не более: основной $\pm 0,2$ , дополнительной $\pm 0,5$
4	Метод измерений	Описание физического принципа, положенного в основу метода	Измерение температуры датчиком Метран-274-02 по принципу действия реализовано на основе тензорезисторов. Тензорезистивные чувствительные элементы представляют собой измерительную мембрану. Деформация мембраны под воздействием температуры приводит к деформациям тензорезистивного моста и его разбалансу – изменению сопротивления, которое измеряется электронным блоком

Продолжение табл. 2

№ п/п	Наименование части документа	Содержание	Пример описания
5	Требования безопасности	Перечисление требований, обеспечивающих при выполнении измерений безопасность труда, производственную санитарию и охрану окружающей среды	При выполнении измерений температуры соблюдают следующие требования безопасности : - к работе с приборами допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электро- и радиоизмерительными приборами; - корпуса СИ заземляются
6	Требования к квалификации операторов	Сведения об уровне квалификации лиц, допускаемых к выполнению измерений и обработке их результатов	К выполнению измерений и (или) обработке их результатов допускаются лица, имеющие среднетехническое образование, а также неполное высшее образование
7	Условия выполнения измерений	Перечисление влияющих величин, их номинальные значения с указанием пределов допускаемых отклонений от номинальных значений	Атмосферное давление, температура и влажность окружающего воздуха в помещении, в котором проводятся измерения, должны соответствовать нормальным значениям факторов внешней среды, регламентированным для эксплуатации изделий в исполнении УХЛ категория 4 по ГОСТ 15150 – 69: температура от –10 до +45 °С, атмосферное давление от 84,0 до 106,7 кПа, рабочее значение влажности воздуха 98% при 25 °С (верхнее значение) и т.д.
8	Подготовка к выполнению измерений	Перечисление и описание подготовительных работ, которые проводят перед выполнением измерений (прогрев аппаратуры, установка нуля, калибровка)	Осуществить внешний осмотр датчика. Затем отсоединить штатный датчик температуры и установить на его место датчик температуры Метран-274-02 и т.п. Перед включением датчика необходимо проверить подсоединение к персональному компьютеру и запустить программу для сбора данных
9	Выполнение измерений	Перечисление операций, объема (периодичности и числа измерений), требований к последовательности операций, их описание, а также требований к числу значащих цифр результатов промежуточных измерений	Измерения выполняются после запуска двигателя при установившейся температуре охлаждающей жидкости в течение трех минут. При выполнении измерений измеряют температуру 3 раза

№ п/п	Наименование части документа	Содержание	Пример описания
10	Обработка результатов измерений	Описание способов получения результатов измерений. Разрешается приводить ссылку на нормативные документы, устанавливающие способы обработки результатов измерений	По полученным в течение измерения данным находится среднее значение и строится контрольная карта средних значений. Если полученное среднее значение температуры охлаждающей жидкости выходит за допустимые границы или присутствует особая причина, определяемая по критериям для контрольной карты, то ЭВМ сигнализирует об этом. Систему охлаждения двигателя ЯМЗ-238 следует считать неисправной, если полученные в процессе измерения значения температуры охлаждающей жидкости выходят за допустимые границы
11	Оформление результатов измерений	Приведение требований к форме, в которой приводят полученные результаты измерений, а также указание вида носителя измерительной информации (документ, магнитная лента, лента самопишущего прибора и т. д.)	Результаты измерений хранят в памяти ЭВМ по указанной ниже форме. В памяти ЭВМ данные обрабатываются и записываются автоматически

### Практическое занятие № 3 МЕТОДЫ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И ЛОКАЛЬНЫЕ ПОВЕРОЧНЫЕ СХЕМЫ

**Цель работы.** Изучение общих принципов построения локальных поверочных схем и способов графического изображения ступеней передачи размера единицы измерений, получение практических навыков разработки локальной поверочной схемы и изучение методов поверки СИ, а также определения погрешностей средств измерений.

## Методы поверки средств измерений

Поверку можно осуществить различными методами.

**Метод непосредственного сличения** без промежуточных приборов довольно прост и широко используется при поверке СИ невысокой точности: штриховых мер длины (линейки, рулетки); мер вместимости (мерные колбы, бюретки); приборов для непосредственного измерения тока, напряжения, частоты; СИ механических величин и т.д. При этом одна и та же физическая величина  $X$  измеряется поверяемым СИ и рабочим эталоном (РЭ). Разность их показаний  $\Delta = X_{СИ} - X_{РЭ}$  является абсолютной погрешностью поверяемого СИ. Приводя ее к нормирующему значению  $X_N$ , получают приведенную погрешность средства измерения  $\gamma = (\Delta/X_N) \cdot 100\%$ . Нормирующее значение  $X_N$  для СИ с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой устанавливается равным большему из пределов измерений или большему из модулей пределов (для СИ с нулем отсчета внутри диапазона измерений). Для средств измерений, в которых принята шкала с условным нулем,  $X_N$  устанавливают равным модулю разности пределов измерений. Для СИ с существенно неравномерной шкалой  $X_N$  устанавливается равным длине шкалы или ее части. Относительная погрешность определяется по формуле  $\delta = (\Delta/X_{СИ}) 100 \%$ .

Этот метод может реализовываться двумя способами:

1) регистрацией совмещений. При этом указатель поверяемого прибора путем изменения входного сигнала совмещают с проверяемой отметкой шкалы, а погрешность определяют расчетным путем как разность между показанием поверяемого прибора и действительным значением, определяемым по показаниям рабочего эталона;

2) отсчитыванием погрешности по шкале поверяемого прибора. При этом номинальное для проверяемой отметки шкалы значение размера физической величины устанавливают по РЭ, а погрешность определяют как разность между проверяемой отметкой поверяемого средства измерения и его указателем.

**Метод сличения с помощью компаратора** (прибора сравнения) более точен и позволяет косвенно сравнить две однородные или разнородные физические величины методами противопоставления или замещения. Сам по себе компаратор не содержит образцовых мер или средства измерения. Наиболее широкое распространение имеют следующие компараторы: образцовые весы – для по-

верки гирь; мосты переменного и постоянного тока – для поверки электрических емкостей, индуктивностей, сопротивлений; потенциометры – для поверки ЭДС. Основные требования к компараторам – высокая чувствительность и стабильность.

**Метод прямого измерения**, в соответствии с которым средства измерения могут быть поверены прямым измерением поверяемым СИ величины, воспроизводимой образцовой мерой.

Как и при поверке методом непосредственного сличения, определение основной погрешности поверяемого СИ проводят двумя способами:

1) изменением размера меры до совмещения указателя поверяемого средства измерения с поверяемой отметкой с последующим определением абсолютной погрешности  $\Delta$  как разности между показанием СИ  $X_{СИ}$  и действительным значением меры  $X_{РЭ}$ . Реализация данного способа может быть осуществлена только при наличии магазина мер, позволяющего достаточно плавно изменять воспроизводимую им физическую величину;

2) предварительной установкой размера меры  $X_{РЭ}$ , равного номинальному для данного показания поверяемого СИ, и последующим отсчетом показания  $X_{СИ}$  по его отсчетному устройству и определением погрешности  $\Delta$  как разности  $X_{СИ} - X_{РЭ}$ .

**Метод косвенных измерений** заключается в использовании прямых измерений и соответствующего пересчета окончательной погрешности в соответствии с известной функциональной зависимостью. При этом необходимо учитывать, что конечный результат всегда содержит составляющие погрешности косвенного измерения.

### **Локальные поверочные схемы**

Поверочные схемы устанавливают систему передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного рабочего эталона рабочим средствам измерения.

Поверочные схемы в зависимости от области распространения подразделяются на государственные, ведомственные и локальные. Локальная поверочная схема, разрабатываемая подразделением метрологической службы (МС) предприятия, проводящим поверку, распространяется на средства измерения, поверяемые в данном органе государственной или ведомственной метрологической службы. Локальную поверочную схему разрабатывают в качестве норматив-

но-технического документа предприятия (организации) после ее согласования с территориальным органом государственной метрологической службы. Поверочная схема должна включать не менее двух ступеней передачи размера единицы. Она должна оформляться в виде чертежа.

На чертеже локальной поверочной схемы должны быть указаны:

- наименование СИ и методов поверки;
- номинальные значения или диапазоны значений физических величин;
- допускаемые значения погрешностей средств измерений;
- допускаемые значения погрешностей методов поверки.

Чертеж поверочной схемы должен состоять из полей, расположенных друг под другом и разделенных штриховыми линиями. Поля должны иметь наименования: “Эталон” или “Государственный эталон” (если вторичные эталоны отсутствуют); “Рабочие эталоны *n*-го порядка” (для каждого разряда – отдельное поле); “Рабочие эталоны, заимствованные из других поверочных схем”; “Рабочие СИ”.

Если локальную поверочную схему возглавляют рабочие эталоны, верхнее поле ее чертежа должно иметь наименование “Исходные рабочие эталоны”.

Число полей зависит от структуры поверочной схемы, но не менее двух ступеней передачи размера единицы. Наименования полей указывают в левой части чертежа, отделенной вертикальной сплошной линией. В верхнем поле чертежа локальной поверочной схемы указывают наименование эталона или рабочего эталона.

В верхнем поле чертежа локальной поверочной схемы для СИ производных величин, единицы которых воспроизводят методом косвенных измерений, указывают наименования рабочих эталонов, применяемых для воспроизведения данной единицы, заимствованных из других поверочных схем. Наименование рабочих эталонов сопровождают ссылками на соответствующие поверочные схемы.

Под наименованиями эталонов и рабочих эталонов указывают номинальные значения или диапазоны значений физических величин и значения их погрешностей.

Под нолеми эталонов располагают поле рабочих эталонов 1-го разряда и далее поля рабочих эталонов последующих разрядов.

В поверочных схемах, в которых должна быть показана передача размера единицы от рабочих эталонов, заимствованных из других поверочных схем, наименования этих рабочих эталонов должны быть помещены в специально отведенном для них поле.

Разряды рабочих эталонов, указываемые в локальных поверочных схемах, должны соответствовать разрядам, присвоенным этим эталонам в государственных поверочных схемах.

Под полем рабочих эталонов нижнего разряда помещают поле рабочих СИ. В нем располагают по возможности слева направо в порядке возрастания погрешности группы рабочих СИ, поверяемых по рабочим эталонам одного наименования. Для каждой группы указывают вид, диапазон измерений и значения погрешностей средств измерений.

Погрешности рабочих эталонов следует характеризовать пределом допускаемой погрешности рабочего эталона ( $\Delta$  – для абсолютной,  $\Delta_0$  – для относительной формы) либо доверительной погрешностью рабочего эталона ( $\delta$  – для абсолютной,  $\delta_0$  – для относительной формы) при соответствующей доверительной вероятности. Для каждой поверочной схемы доверительную вероятность принимают единой и выбирают из ряда: 0,90; 0,95; 0,99.

Погрешность рабочих средств измерений следует характеризовать пределом допускаемой погрешности СИ. Форма выражения погрешности рабочих эталонов и рабочих СИ в одной поверочной схеме по возможности должна быть одинаковой.

Наименования средств измерений, их номинальные значения или диапазоны значений физических величин и погрешности, указываемые в локальной поверочной схеме, должны соответствовать:

– для эталонов – установленным в результате их утверждения в соответствии с требованиями ГОСТ 8.372-80;

– для рабочих эталонов – указанным в государственных стандартах, устанавливающих технические требования, или свидетельствах об их метрологической аттестации;

– для рабочих СИ – установленным в государственных стандартах техническим требованиям (техническим условиям) на эти средства измерения.

Наименования и обозначения физических величин и их единиц должны соответствовать СТ СЭВ 1052-78.

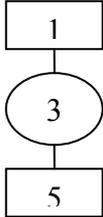
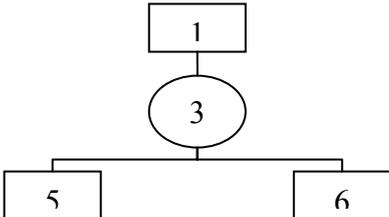
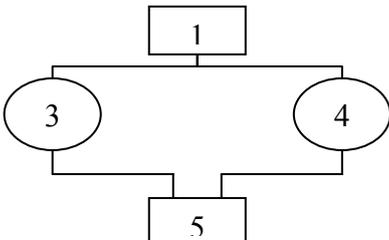
Методы поверки СИ, указываемые на локальной поверочной схеме, с целью унификации должны соответствовать одному из следующих общих методов:

- непосредственное сличение (т.е. без средств сравнения);
- сличение при помощи компаратора (т.е. при помощи средств сравнения);
- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений.

При указании метода поверки допускается в текстовой части отражать специфику поверки средств измерений (например: сличение при помощи компаратора 47-5). Под наименованием метода поверки указывается допускаемое значение погрешности метода поверки. Способы графического изображения ступени передачи размера единицы указаны в табл. 3.

*Таблица 3*

Способы графического изображения поверочных схем

Ступень передачи	Графическое изображение
От рабочего эталона 1 объекту поверки 5 методом 3	
От рабочего эталона 1 объекту поверки 5 и 6 методом 3	
От рабочего эталона 1 объекту поверки 5 методом 3 или 4	

Продолжение табл. 3

Ступень передачи	Графическое изображение
От рабочего эталона 1 объекту поверки 5 методом 3 и объекту поверки 6 методом 4	<pre> graph TD     1[1] --- 3((3))     1 --- 4((4))     3 --- 5[5]     4 --- 6[6]         </pre>
От рабочего эталона 1 или 2 объекту поверки 5 методом 3	<pre> graph TD     1[1] --- 3((3))     2[2] --- 3     3 --- 5[5]         </pre>
От рабочего эталона 1 или 2 объектам поверки 5 и 6 методом 3	<pre> graph TD     1[1] --- 3((3))     2[2] --- 3     3 --- 5[5]     3 --- 6[6]         </pre>
От рабочих эталонов 1 и 2 единиц различных физических величин объекту поверки 5 методом 3	<pre> graph TD     1[1] --- 3((3))     2[2] --- 3     3 --- 5[5]         </pre>
От рабочих эталонов 1 и 2 единиц различных физических величин объектам поверки 5 и 6 методом 3	<pre> graph TD     1[1] --- 3((3))     2[2] --- 3     3 --- 5[5]     3 --- 6[6]         </pre>
От рабочего эталона 1 методом 3 или от рабочего эталона 2 методом 4 объекту поверки 5	<pre> graph TD     1[1] --- 3((3))     2[2] --- 4((4))     3 --- 5[5]     4 --- 5         </pre>

Ступень передачи	Графическое изображение
От рабочего эталона 1 методом 3 или от рабочего эталона 2 методом 4 объектам поверки 5 и 6	
От рабочего эталона 1 или 2 объекту поверки 5 методом 3 или объекту поверки 6 методом 4	
От рабочих эталонов 1 и 2 единиц различных физических величин методом 3 объекту поверки 5 и методом 4 объекту поверки 6	

Наименование государственного эталона заключают в прямоугольник, образованный двойной линией. Наименования рабочих эталонов и рабочих СИ изображают в прямоугольнике, образованном одинарной линией. Наименования методов поверки указывают в горизонтальных овалах, которые располагают между наименованиями объектов поверки и рабочих эталонов, от которых передают размер единицы.

Передачу размеров единиц сверху вниз изображают сплошными линиями, соединяющими объекты поверки с соответствующими средствами, от которых передается размер единицы, причем в разрыв этих линий помещают овалы с указанием основных методов поверки. Овалы, находящиеся ниже поля эталонов, располагают в разрывах штриховых линий, разделяющих соответствующие поля схемы.

Размеры элементов должны быть одинаковыми в пределах одного поля.

Пример локальной поверочной схемы для датчика давления МС2000-2151 по ГОСТ 8.017-79 приведен на рис. 2.

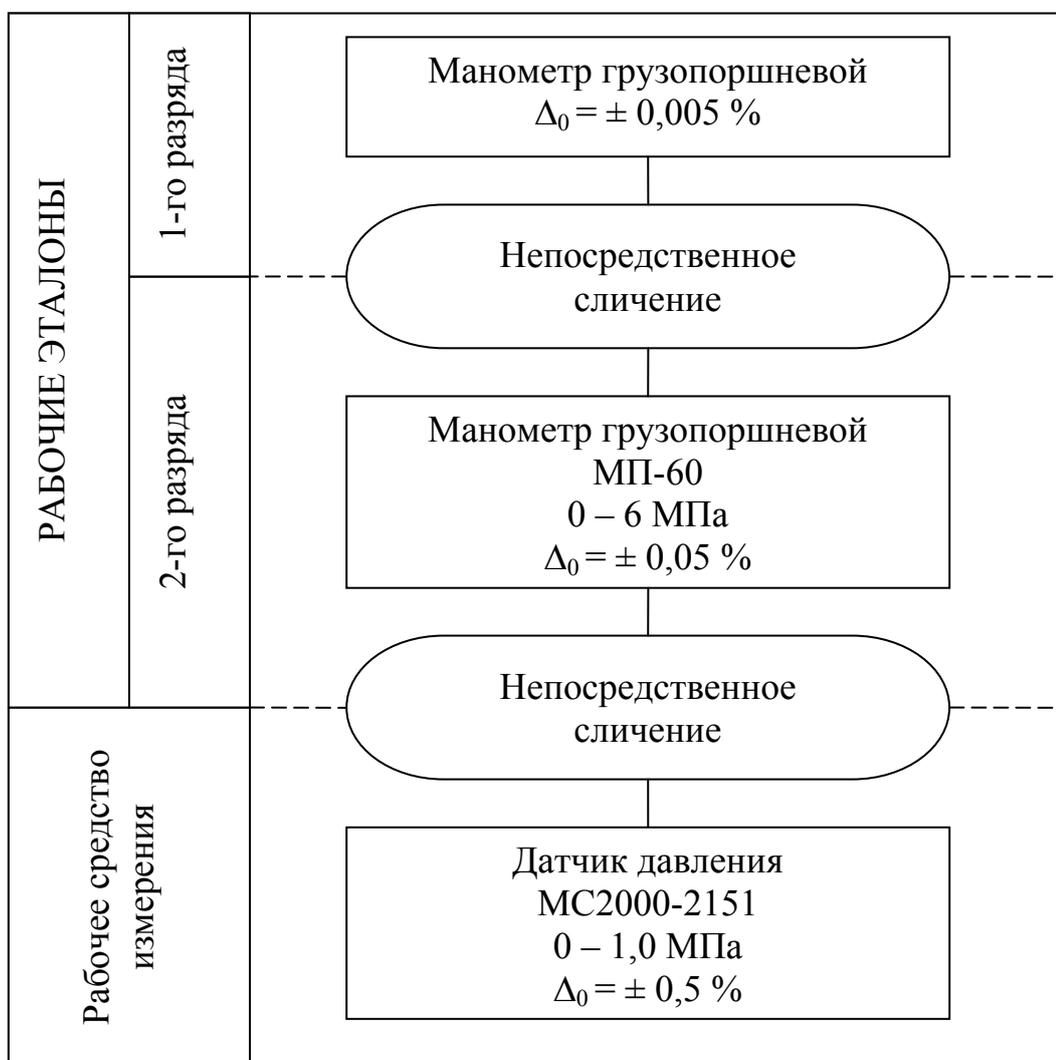


Рис. 2. Локальная поверочная схема

Локальные поверочные схемы утверждаются руководителем предприятия по согласованию с органом государственной метрологической службы.

## Практическое занятие № 4

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ АТС

**Цель работы.** Получение практических навыков разработки методики поверки средств измерений.

### Основные положения

Методика поверки СИ должна содержать вводную часть и следующие разделы:

- операции поверки;
- средства поверки;
- условия поверки;
- подготовка к поверке;
- проведение поверки;
- обработка результатов наблюдений;
- оформление результатов поверки.

Допускается объединение и исключение разделов.

Вводная часть должна излагаться в следующей формулировке: «Настоящая методика поверки распространяется на ... (далее следуют наименование средств измерений и их нормативно-технические характеристики) и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверок».

К числу нормативно-технических характеристик должны относиться номера государственных стандартов, распространяющихся на данные СИ, обозначения типов, установленные в стандартах или принятые в государственном реестре; основные метрологические параметры (диапазоны измерений, классы точности или оценки погрешностей и т.п.).

*При отсутствии государственных стандартов на общесоюзные поверочные схемы для данных типов СИ допускается указывать разряды рабочих эталонов, установившиеся в поверочной практике, при условии указания классов точности или оценок погрешностей.*

**Раздел «Операции поверки»** должен содержать перечень наименований операций, подлежащий проведению при поверке. Операции поверки должны быть указаны в той последовательности, в

которой наиболее целесообразно вести процесс поверки; при этом должна учитываться возможность своевременного прекращения поверки в случае получения отрицательных результатов при проведении отдельных операций.

В наименованиях операций, предназначенных для определения отдельных метрологических параметров поверяемых СИ, вместо слова «поверка» должно применяться слово «определение». В случаях, не относящихся к определению параметров, следует применять слово «проверка», например: проверка комплектности, проверка взаимодействия элементов СИ и т.п.

Первый пункт раздела «Операции поверки» должен иметь следующую формулировку: «При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в табл. ... (форма таблицы должна соответствовать табл. 4)».

*Таблица 4*

#### Операции поверки

Операция	Номера пунктов стандарта	Обязательность проведения операций при:		
		выпуске из производства	ремонте	эксплуатации и хранении
1	2	3	4	5

Примечания:

1. В графах 3, 4 и 5 обязательность проведения операций указывается словами «да» или «нет».

2. Когда по графам 3 и 4 должны проводиться одни и те же операции во всех случаях, эти графы объединяются в одну.

3. Когда должны проводиться одни и те же операции во всех случаях, графы 3, 4 и 5 исключаются.

4. Когда одни и те же операции должны проводиться в большинстве случаев, графы 3, 4 и 5 исключаются и указание об обязательности проведения операции приводится в графе 1.

5. При малом числе операций поверки допускается излагать наименования операций в виде перечня, при этом наименование каждой операции выделяется в отдельный подпункт со ссылкой на номер соответствующего пункта в разделе «Проведение поверки».

**Раздел «Средства поверки»** должен содержать перечень рабочих эталонов и вспомогательных средств поверки. К числу последних должны относиться вспомогательные СИ, вспомогательные устройства и поверочные приспособления, например, источник стабилизированного напряжения, термостат, средства измерений, выполняющие при поверке вспомогательные функции и т.п.

Для рабочих эталонов и вспомогательных средств измерений должны указываться их нормативно-технические характеристики.

Для вспомогательных устройств и поверочных приспособлений должны указываться их технические характеристики, обозначения, принятые в распространяющейся на них нормативно-технической документации, или номера распространяющихся на них стандартов.

Допускается в перечень включать для одной и той же операции дублирующие средства поверки, обеспечивающие определение метрологических параметров поверяемых СИ с требуемой точностью.

Первый пункт раздела должен иметь следующую формулировку: «При проведении поверки должны применяться следующие средства поверки ... (далее должен следовать перечень средств поверки)».

В зависимости от количества средств поверки, их назначения для проведения одной или нескольких операций, удобства записи нормативно-технических характеристик должна быть установлена наиболее целесообразная форма перечня из числа следующих:

– перечень наименований средств поверки, причем наименование каждого средства с указанием нормативно-технических характеристик выделяется в отдельный подпункт;

– перечень в табличной форме, состоящей из двух граф: – «Наименование средств поверки» и – «Нормативно-технические характеристики».

При целесообразности объединения разделов «Операции поверки» и «Средства поверки» под общим наименованием «Операции и средства поверки» первый пункт объединенного раздела должен иметь следующую формулировку: «При проведении поверки должны выполняться операции и применяться средства поверки, указанные в табл. ...» (форма таблицы должна соответствовать табл. 5).

## Средства поверки

Операция	Номера пунктов стандарта	Средства поверки и их нормативно-технические характеристики	Обязательность проведения операций при:		
			выпуске из производства	ремонте	эксплуатации и хранении

В таблицу или перечень средств поверки допускается вводить указание, разрешающее применение отдельных, вновь разработанных или находящихся в применении средств поверки, прошедших метрологическую аттестацию в органах государственной метрологической службы и удовлетворяющих по точности требованиям методики поверки.

**Раздел «Условия поверки»** должен содержать перечень физических величин, влияющих на метрологические параметры поверяемых СИ, с указанием номинальных значений влияющих величин и пределов, допускаемых при поверке отклонений от их номинальных значений.

Если значения влияющих величин различны для отдельных операций поверки – в стандарте это оговаривается.

К влияющим величинам должны относиться температура, влажность и давление окружающего воздуха питания; температура, давление и физико-химические свойства применяемой при поверке среды; частота и напряжение тока питания; вибрация и тряска; магнитные и электрические поля; содержание гармоник; ускорение свободного падения и т.п.

Первый пункт раздела должен иметь следующую формулировку: «При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия: ... (далее должен следовать перечень влияющих величин)».

**Раздел «Подготовка к поверке»** должен содержать перечень подготовительных работ, которые производятся перед проведением поверки, и способов их выполнения.

К работам, которые должны быть выполнены перед проведением поверки, относятся: установка и подготовка поверяемых СИ

под воздействием влияющих величин; промывка мер, снятие смазки, прогрев приборов под током; экранирование, проверка герметичности контактных соединений и освещенности; включение присоединительных устройств; заземление; проведение мероприятий по технике безопасности и т.п.

Первый пункт раздела должен иметь следующую формулировку: «Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы: ... (далее следует перечень подготовительных работ)».

При малом числе требований к подготовке и условиям поверки допускается объединять разделы «Условия поверки» и «Подготовка к поверке» под общим названием «Условия поверки и подготовка к ней». При этом сначала должны излагаться требования к условиям.

Раздел «Подготовка к поверке» в обоснованных случаях может отсутствовать.

**Раздел «Проведение поверки»** должен содержать следующие подразделы:

- внешний осмотр;
- опробование;
- определение метрологических параметров.

Подраздел «Внешний осмотр» должен содержать перечень требований, которым должны удовлетворять поверяемые средства измерения при их осмотре.

При внешнем осмотре СИ проверяют комплектность, маркировку, обозначения на шкалах классов точности и единиц физических величин, цены делений отсчетных устройств, дефекты покрытий и элементов СИ, при наличии которых не может быть допущено их применение, и т.п.

Первый пункт подраздела должен иметь следующую формулировку: «При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие ... (далее наименование поверяемых СИ) следующим требованиям: ... (далее должен следовать перечень требований)».

Подраздел «Опробование» должен содержать перечень операций, которые необходимо провести с использованием или без использования рабочих эталонов и вспомогательных средств поверки для опробования действия поверяемого СИ или действия и взаимодействия его элементов.

К операциям опробования могут относиться проверка действия органов управления, регулирования, настройки и коррекции, которыми надо пользоваться при поверке и при эксплуатации поверяемого СИ; проверка установки указателя поверяемого средства измерения; проверка установки указателя на нуль при включении и выключении питания, работоспособности при подаче на вход сигнала или при переключениях по диапазонам измерения, свободного перемещения, фиксации или взаимодействия элементов; проверка осветительных устройств по диапазонам, проверка качества изображения, мертвого хода, люфтов, твердости, жесткости отдельных деталей и т.п.

Подраздел «Опробование» в обоснованных случаях может отсутствовать.

Подраздел «Определение метрологических параметров» должен устанавливать методы поверки и способы проведения экспериментальных операций для определения соответствия значений метрологических параметров поверяемых СИ допускаемым для них отклонениям от номинальных значений.

Требование к проведению каждой операции должно быть выделено в отдельный пункт.

Текст описания операции в зависимости от особенностей подлежащих определению метрологических параметров должен содержать определение метода поверки с введением дополнительных уточнений, например, прямой метод, косвенный метод и т.п.; указания о средствах поверки; схемы включения и чертежи с пояснением указанных в схемах и чертежах элементов в тексте; указания о порядке выполнения операций, в том числе, какие действия надо произвести с поверяемым СИ и при необходимости средствами поверки (корреляция нуля, настройка, способ включения, способ подачи на вход измеряемой величины – плавное изменение или импульсное и т.д.); способы обработки результатов наблюдений, формулы, графики, таблицы с пояснением входящих в них символов; указания о допускаемой погрешности отсчитывания и т.п.

Если при проведении операции поверки необходимо вести протокол записи результатов наблюдений, это должно быть оговорено в методике поверки, и форма протокола должна быть указана в обязательном приложении.

В конце текста описания операции должны указываться пределы допускаемых отклонений.

**Раздел «Обработка результатов наблюдений»** должен включаться в стандарт при наличии сложных способов обработки результатов наблюдений. Каждое требование раздела должно быть выделено в отдельный пункт с указанием в нем соответствующего номера пункта раздела «Проведение поверки».

**Раздел «Оформление результатов поверки»** должен содержать требования по оформлению результатов первичной и периодической поверки средств измерений.

Положительные результаты поверки должны оформляться путем:

- клеймения поверенных СИ с указанием в зависимости от их конструктивных особенностей способов и мест нанесения клейм;
- записи результатов поверки в эксплуатационном паспорте (или документе, его заменяющем), заверенной поверителем с нанесением оттиска поверительного клейма.

Последний пункт раздела должен содержать указания о запрещении выпуска в обращение и применения СИ, прошедших поверку с отрицательными результатами, и об обязательности в этом случае погашения клейм и указаний в документах по оформлению результатов поверки о непригодности поверенных средств измерений.

Методика поверки может содержать обязательные и справочные приложения. На все приложения должны быть ссылки в соответствующих пунктах методики поверки с указанием, являются ли они обязательными или справочными.

Обязательными приложениями оформляются:

- формы протоколов;
- примеры расчетов по обработке результатов наблюдений, таблицы расчетных величин, графики зависимости величин и другие расчетные данные;
- порядок записи в свидетельстве (выпускном аттестате) результатов поверки рабочих средств измерений.

Справочными приложениями оформляются:

- технические описания вспомогательных устройств и поверочных приспособлений;
- необходимые дополнительные сведения о поверяемых СИ, рабочих эталонах и вспомогательных средствах поверки;
- дополнительные особые указания о способах нанесения поверительных клейм;
- специальные указания по технике безопасности;

– другие материалы, способствующие исключению ошибок при поверке и повышению производительности поверочных работ, например, поверочные таблицы с заранее подсчитанными предельно допускаемыми нормами отклонений для определяемых при поверке значений параметров, номограммы, указания по применению вычислительной техники и т.п.

## **Практическое занятие № 5** **ОПТИМИЗАЦИЯ МЕЖПОВЕРОЧНЫХ ИНТЕРВАЛОВ** **СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Цель работы.** Знакомство и изучение общих принципов оптимизации межповерочных интервалов (МПИ) средств измерений диагностических параметров АТС, а также оптимизация МПИ СИ по трем возможным ситуациям при использовании технического критерия.

### **Общие положения**

Для обнаружения скрытых метрологических отказов производят поверки средств измерений через определенные межповерочные интервалы.

Очевидно, величина МПИ должна быть оптимальной, так как частые поверки связаны с материальными и трудовыми затратами по их организации и проведению, изъятию СИ из технологического процесса, а редкие – могут привести к повышению погрешности измерений из-за метрологических отказов средств измерений.

Рабочие СИ, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, подвергаются обязательной государственной поверке и имеют вполне определенные МПИ. Периодичность поверок СИ, обслуживаемых ведомственной МС, должна устанавливаться ведомствами на соответствующей методической основе и базироваться на определенных критериях.

Все методы расчета МПИ можно разделить по подходу на экономические и технические, а по используемому математическому аппарату – на вероятностные и детерминированные. Возможны и комбинации этих методов: экономические вероятностные, экономические детерминированные, технико-экономические вероятностные.

При техническом подходе межповерочные интервалы, как правило, устанавливают на основе статистических данных о надежности СИ в условиях реальной эксплуатации. Расчетное значение МПИ можно оценить по формуле

$$t_{\text{МПИ}} = -T_0 \ln P_{\text{доп}}, \quad (5)$$

где  $T_0$  – наработка СИ на отказ;  $P_{\text{доп}}$  – допускаемая вероятность безотказной работы СИ по метрологическим отказам ( $P_{\text{доп}} = 0,85; 0,90; 0,99$ ).

Правильность назначенного МПИ оценивают с доверительной вероятностью 0,8

$$P_{\text{доп}} - 1,28 \sqrt{\frac{P_{\text{доп}}(1 - P_{\text{доп}})}{N}} \leq P \leq P_{\text{доп}} + 1,28 \sqrt{\frac{P_{\text{доп}}(1 - P_{\text{доп}})}{N}}, \quad (6)$$

$$P = \frac{N - n}{N}, \quad (7)$$

где  $P$  – статистическое значение вероятности безотказной работы;  $N$  – количество СИ однородной группы;  $n$  – количество СИ, забракованных по скрытым метрологическим отказам в течение МПИ.

Если условие не выполняется, то очередной межповерочный интервал корректируется по уравнению

$$t'_{\text{МПИ}} = C \cdot t_{\text{МПИ}}, \quad (8)$$

где  $C = \ln P_{\text{доп}} / \ln P$ .

Если из статистического анализа известны параметры потока метрологических отказов в период работы  $\lambda_t$  и в период хранения  $\lambda_x$ , то можно ввести уточнение первого МПИ как

$$t_{\text{МПИ}} = -T_0 \ln P_{\text{доп}} [K_{\text{и}} - \eta(1 - K_{\text{и}})]^{-1},$$

где  $K_{\text{и}} = T_{\text{ф}} / t_{\text{к}}$ ;  $\eta = \lambda_x / \lambda_t$ ;  $T_0$  – наработка на отказ;  $T_{\text{ф}}$  – фактическая наработка СИ за МПИ;  $t_{\text{к}}$  – календарное (нормированное в НТД на конкретное СИ) значение межповерочного интервала.

Очевидно, для повышения достоверности расчетов и установления единого МПИ для данного средства технического диагностирования (СТД) следует найти функцию, в которой определены как экономические, так и технические показатели с учетом характеристик эксплуатационной надежности.

Расчетные значения межповерочного интервала приводят в соответствие с нормированным рядом: 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 9,0; 12,0 × К (в месяцах), где К – целое положительное чис-

ло. Этот ряд справедлив как для работающих СИ, так и для средств измерения, находящихся на хранении.

При использовании технического критерия рассмотрим три возможные ситуации, обусловленные характером и объемом известных данных.

1. Вид функции  $P_M(t)$  – вероятности отсутствия метрологического отказа – установлен.

**Пример.** Для однородной группы СИ ( $N = 100$  шт.) определить МПИ, если параметр потока метрологических отказов  $\lambda_M = \frac{n}{t \cdot N}$ , где  $n$  – количество СИ, забракованных по скрытым метрологическим отказам в течение МПИ;  $N$  – количество СИ однородной группы;  $t$  – МПИ, указанный в НТД. При неизвестном значении  $Q$  – допускаемой вероятности метрологических отказов – она обычно задается на уровне  $Q = 0,15$ .

**Решение.** По истечении установленного срока  $t$  все средства измерений однородной группы были подвергнуты проверке, при этом из 100 шт. приборов было забраковано 20 шт. Учитывая, что  $Q = 1 - P_{\text{доп}}$ , получим из уравнения (5) расчетное значение МПИ:

$$\lambda_M = \frac{20}{1 \cdot 100} = \frac{1}{5} \text{ год}^{-1},$$

$$t_{\text{МПИ}} = -\frac{\ln(1-Q)}{\lambda_M} = -5 \ln(1-0,15) \approx 0,8 \text{ года.}$$

Согласно формуле (7) определяем статистическое значение

$$P = \frac{100 - 20}{100} = 0,80.$$

Согласно соотношению (6) определяем необходимость корректировки МПИ

$$0,85 - 1,28 \sqrt{\frac{0,85(1-0,85)}{100}} \leq P \leq 0,85 + 1,28 \sqrt{\frac{0,85(1-0,85)}{100}},$$

$$0,81 \leq P \leq 0,89.$$

Статистическое значение  $P = 0,80$  выходит за пределы полученных границ. Следовательно, МПИ ( $t_{\text{МПИ}} = 0,8$  года) был назначен неверно и по результатам проведенной проверки подлежит коррекции.

По формуле 8 определяем МПИ с учетом коэффициента коррекции

$$t_{\text{МПИ}} = \frac{\ln 0,85}{\ln 0,80} 0,8 \approx 0,6 \text{ года или 7 месяцев.}$$

2. Функция  $P_M(t)$  неизвестна, но имеется информация о явных и скрытых отказах, полученных путем статистических исследований достаточно большой партии средств измерений. При этом определены:  $n$  – число отказавших СИ за время  $t$  (МПИ, установленный в НТД на конкретные однородные СИ) и доля  $m$  метрологических отказов в общем их числе.

Тогда при заданном  $Q$

$$t_{\text{МПИ}} = t \frac{\ln(1-Q)}{\ln\left(1 - \frac{mn}{N}\right)}. \quad (9)$$

**Пример.** Из  $N = 1500$  однотипных приборов в течение года эксплуатации ( $t = 12$  мес.) по метрологическим отказам забраковано 300 шт., доля  $m$  метрологических отказов в общем их числе равна 1. Задано  $Q = 0,15$ . Найти межповерочный интервал.

Тогда по формуле 9 искомый МПИ составит

$$t_{\text{МПИ}} = 12 \frac{\ln(1-0,15)}{\ln\left(1 - \frac{300}{1500}\right)} = 9 \text{ мес.}$$

3. При отсутствии сведений об эксплуатационной надежности СИ необходимо организовать наблюдение за  $N$  приборами в течение времени  $t$  и осуществить их поверку, а затем найти МПИ следующим способом:

$$v = \frac{n}{N} \text{ при } n \neq 0; \quad v = \frac{1}{2N+2} \text{ при } n = 0,$$

где  $N$  – количество поверенных СИ, а  $n$  – число СИ с погрешностью выше допустимой. Если  $n=N$ , то следует уменьшить  $t$  в 2 раза и снова провести их поверку и обработку данных.

Для вычисления скорректированного значения МПИ определяют верхнюю доверительную границу

$$v_B = v + k\gamma',$$

где  $\gamma' = \sqrt{\frac{v(1-v)}{N}}$ ,  $k$  – число поверок, и верхнее значение параметра

потока метрологических отказов за период  $\tau_1$  составляет

$$\lambda_B = -\frac{\ln(1-v_B)}{t}.$$

Тогда продолжительность нового межповерочного интервала можно определить как

$$t_{\text{МПИ}} = -\frac{\ln(1-Q)}{\lambda_B}.$$

## Практическое занятие № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ

**Цель работы.** Требуется определить статистические вероятности безотказной работы  $P(t)$  и отказа  $Q(t)$  устройства для заданного значения  $t$ , указанного в табл. 5. Далее необходимо рассчитать значение вероятности безотказной работы  $P^*(t)$  по первым 20 значениям наработки до отказа, указанным для соответствующего варианта в табл. 5. Затем для заданной наработки  $t$  требуется рассчитать математическое ожидание числа работоспособных устройств  $\bar{N}_p(t)$  при общем числе находившихся в эксплуатации форсунок, указанном в табл. 7.

### Общие положения

В табл. 6 приведены значения наработок до отказа в находившейся под контролем партии топливных форсунок дизелей автомобилей.

*Таблица 6*

Значения наработки устройства до отказа и заданные значения  $t$  и  $T_0$

Последняя цифра шифра	Массив значений наработки до отказа $T \cdot 10^3, \text{ ч}$	Заданное значение $t \cdot 10^3, \text{ ч}$	Значение $T_0 \cdot 10^3, \text{ ч}$
0	10, 15, 7, 9, 6, 11, 13, 4, 15, 12, 12, 8, 5, 14, 8, 11, 13, 8, 10, 11, 15, 6, 7, 9, 10, 14, 7, 11, 13, 5, 9, 8, 9, 15, 10, 9, 12, 14, 10, 12, 11, 8, 10, 12, 11, 12, 10, 11, 7, 9	11,5	3,5
1	11, 9, 12, 16, 7, 8, 10, 11, 15, 8, 12, 14, 6, 10, 9, 10, 16, 11, 10, 13, 15, 11, 13, 12, 9, 11, 13, 12, 13, 11, 12, 8, 10, 15, 16, 8, 10, 7, 12, 14, 5, 16, 13, 13, 9, 6, 11, 9, 12, 14	12,5	4,5

Окончание табл. 6

Последняя цифра шифра	Массив значений наработки до отказа $T \cdot 10^3$ , ч	Заданное значение $t \cdot 10^3$ , ч	Значение $T_0 \cdot 10^3$ , ч
2	12, 17, 9, 11, 8, 13, 15, 6, 17, 14, 14, 10, 7, 16, 10, 13, 15, 10, 12, 13, 17, 8, 9, 11, 12, 16, 9, 13, 15, 7, 11, 10, 11, 17, 12, 11, 14, 16, 12, 14, 13, 10, 12, 14, 13, 14, 12, 13, 9, 11	13,5	5,5
3	13, 12, 15, 17, 13, 15, 14, 11, 13, 15, 14, 15, 13, 14, 10, 12, 17, 18, 10, 12, 9, 14, 16, 7, 18, 15, 15, 11, 8, 13, 11, 14, 16, 11, 13, 14, 18, 9, 10, 12, 13, 17, 10, 14, 16, 8, 12, 11, 12, 18	14,5	6,5
4	14, 13, 16, 18, 14, 16, 15, 12, 14, 16, 15, 16, 14, 15, 11, 13, 18, 19, 11, 13, 10, 15, 17, 8, 19, 16, 16, 12, 9, 14, 12, 15, 17, 12, 14, 15, 19, 10, 11, 13, 14, 18, 11, 15, 17, 9, 13, 12, 13, 19	15,5	7,5
5	5, 10, 6, 7, 2, 5, 5, 9, 12, 4, 1, 6, 8, 7, 4, 3, 11, 4, 6, 5, 7, 8, 3, 4, 6, 8, 7, 11, 6, 1, 5, 2, 7, 6, 9, 2, 5, 9, 4, 6, 8, 10, 5, 1, 7, 9, 3, 8, 1, 4	6,5	0,5
6	6, 9, 7, 2, 5, 13, 10, 6, 6, 3, 8, 7, 11, 8, 5, 4, 12, 5, 7, 6, 8, 9, 4, 5, 7, 9, 8, 12, 7, 2, 6, 3, 8, 7, 10, 3, 6, 10, 5, 7, 9, 11, 6, 2, 8, 10, 4, 9, 2, 5	7,5	1,5
7	7, 7, 11, 14, 6, 3, 8, 10, 7, 12, 8, 9, 4, 9, 6, 5, 13, 6, 8, 7, 9, 10, 5, 6, 8, 10, 9, 13, 8, 3, 7, 4, 9, 8, 11, 4, 7, 11, 6, 8, 10, 12, 7, 3, 9, 11, 5, 10, 3, 6	8,5	2,5
8	8, 4, 10, 12, 6, 11, 4, 7, 9, 11, 13, 10, 14, 9, 4, 8, 5, 10, 9, 12, 5, 8, 12, 7, 13, 9, 10, 5, 8, 8, 12, 15, 7, 4, 9, 11, 8, 10, 7, 6, 14, 7, 9, 8, 10, 11, 6, 7, 9, 11	9,5	3,5
9	9, 11, 12, 7, 8, 10, 12, 14, 12, 11, 6, 9, 9, 13, 16, 8, 5, 10, 12, 9, 11, 8, 7, 15, 8, 10, 11, 15, 10, 5, 9, 6, 11, 10, 13, 6, 9, 13, 8, 10, 12, 14, 9, 5, 11, 13, 7, 10, 5, 8	10,5	4,5

Объем партии устройств и заданное значение  $k$ 

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Объем партии	1000	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Значение $k$	2	6	3	5	4	2	6	3	5	4

Наработка исследуемых топливных форсунок до отказа есть непрерывная случайная величина  $T$ . По результатам испытания (наблюдения и эксплуатации) партии из  $N$  устройств получена дискретная совокупность из  $N$  значений  $T_1, \dots, T_i, \dots, T_N$ , указанных в табл. 5.

Статистически вероятность безотказной работы устройства для наработки  $t$  определяется как

$$P(t) = \frac{N_p(t)}{N}, \quad (10)$$

где  $N_p(t)$  – число объектов, работоспособных на момент времени  $t$ . Для определения  $N_p(t)$  из табл. 5 следует выбрать значения  $T$ , превышающие  $t$ .

При выполнении расчетов необходимо быть очень внимательным, поскольку полученные результаты используются в последующем, и ошибка на первом шаге приводит к неверным результатам всех последующих вычислений.

Вероятность отказа устройства за наработку  $t$  статистически определяется как

$$Q(t) = \frac{N_{\text{нр}}(t)}{N}, \quad (11)$$

где  $N_{\text{нр}}(t)$  – число объектов, неработоспособных к наработке  $t$ . Для определения  $N_{\text{нр}}(t)$  из табл. 5 следует выбрать значения  $T$ , меньшие  $t$ .

Поскольку  $N_p(t) + N_{\text{нр}}(t) = N$ , нетрудно видеть, чему равна сумма вероятностей:  $P(t) + Q(t)$ . Подсчет этой суммы используйте для проверки правильности своих вычислений.

Оценку вероятности безотказной работы устройства по первым 20 значениям наработки до отказа обозначим как  $P^*(t)$ . Ее значение определяется также по формуле (10), но при этом  $N = 20$ , и число работоспособных объектов  $N_p(t)$  выбирается из этой совокупности.

Будем считать, что условия опыта, включающего 50 наблюдений, позволили однозначно определить вероятность безотказной работы форсунки, т.е.  $P(t) = 1 - F(t)$ . Здесь  $F(t)$  – функция распределения случайной величины «наработка до отказа», определяющая вероятность события  $T \leq t$  при  $N \rightarrow \infty$ .

Тогда с учетом формулы (10) математическое ожидание числа объектов  $\bar{N}_p(t)$ , работоспособных к наработке  $t$ , определяется как

$$\bar{N}_p(t) = P(t)N,$$

где  $N$  – объем партии устройств, определяемый по табл. 6.

**Контрольный вопрос.** Чем объясняется возможное различие значений  $P(t)$  и  $P^*(t)$ ?

## **Практическое занятие № 7** **РАСЧЕТ СРЕДНЕЙ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА**

**Цель работы.** Требуется рассчитать среднюю наработку до отказа  $\bar{T}$  рассматриваемых форсунок. Первоначально вычисления произвести непосредственно по выборочным значениям  $T$ , указанным в табл. 5, а затем с использованием статистического ряда.

### **Общие положения**

Для вычислений среднего значения  $\bar{T}$  случайной величины  $T$  непосредственно по ее выборочным значениям  $T_1, T_2, \dots, T_i, \dots, T_N$  используют формулу

$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i. \quad (12)$$

Уточним, что здесь  $N$  равно числу значений  $T$  в табл. 5 для заданного варианта. Ошибки, которые можно сделать при расчетах, разделяют на технические и методические. Техническая ошибка является следствием неправильных действий вычислителя (ошибка при введении числа в калькулятор, повторное введение одного и того же числа, пропуск одного или нескольких чисел и т.п.). Методическая ошибка определяется используемым методом и формулами расчета.

Формула (12) не несет в себе методической ошибки, однако расчеты с ее помощью обычно трудоемки и часто приводят к неверным результатам в силу технических ошибок.

Чтобы избежать ошибки, расчеты полезно выполнить как минимум дважды, вводя в калькулятор значения  $T_i$  первоначально с 1-го значения до  $N$ -го, а затем с  $N$ -го до 1-го.

Значительно упростить и ускорить вычисления можно путем использования преобразования результатов наблюдений (совокупности значений  $T_i$ ) в статистический ряд. С этой целью весь диапазон наблюдаемых значений  $T$  делят на  $m$  интервалов или «разрядов» и подсчитывают число значений  $n_i$ , приходящихся на каждый  $i$ -й разряд. Результаты такого подсчета удобно записывать в форме, соответствующей табл. 8.

Таблица 8

Преобразование значений наработки до отказа в статистический ряд

Интервал		Число попаданий в интервал	Частота попаданий	Статистическая вероятность
№ п/п	Нижняя и верхняя границы, $10^3$ ч			
1	8,5 ÷ 11,5	####	$n_1=15$	$q_1=0,15$
2	11,5 ÷ 14,5	#####	$n_2=35$	$q_2=0,35$
3	14,5 ÷ 17,5	#####	$n_3=30$	$q_3=0,30$
4	17,5 ÷ 20,5	####	$n_4=20$	$q_4=0,20$

Длины  $\Delta t$  всех разрядов чаще всего принимают одинаковыми, а число разрядов  $m$  обычно устанавливают порядка 10. Для выполнения данного задания примите  $\Delta t = 3 \cdot 10^3$  ч, а  $m = 4$ .

Для примера в табл. 7.1 указаны результаты систематизации в виде статистического ряда 100 значений случайной величины, распределенной на интервале  $[8,5 \cdot 10^3 \text{ ч}; 20,5 \cdot 10^3 \text{ ч}]$  для тех же условий, т.е.  $\Delta t = 3 \cdot 10^3$  ч, а  $m = 4$ .

Заполнять таблицу несложно. Последовательно просматривая массив значений  $\{T_i\}$ , оценивают, к какому разряду относится каждое число. Факт принадлежности числа к определенному разряду отмечают чертой в соответствующей строке таблицы. Затем подсчитывают  $n_1, \dots, n_i, \dots, n_m$  — число попаданий значений случайной величины (число черточек) соответственно в 1-й, ...,  $i$ -й, ...,  $m$ -й

разряд. Правильность подсчетов определяют, используя следующие соотношения:

$$\sum_{i=1}^m n_i = N.$$

Нижнюю границу интервала  $T_0$  установите, пользуясь табл. 6.

Статистический ряд можно отразить графически, как показано на рис. 3.

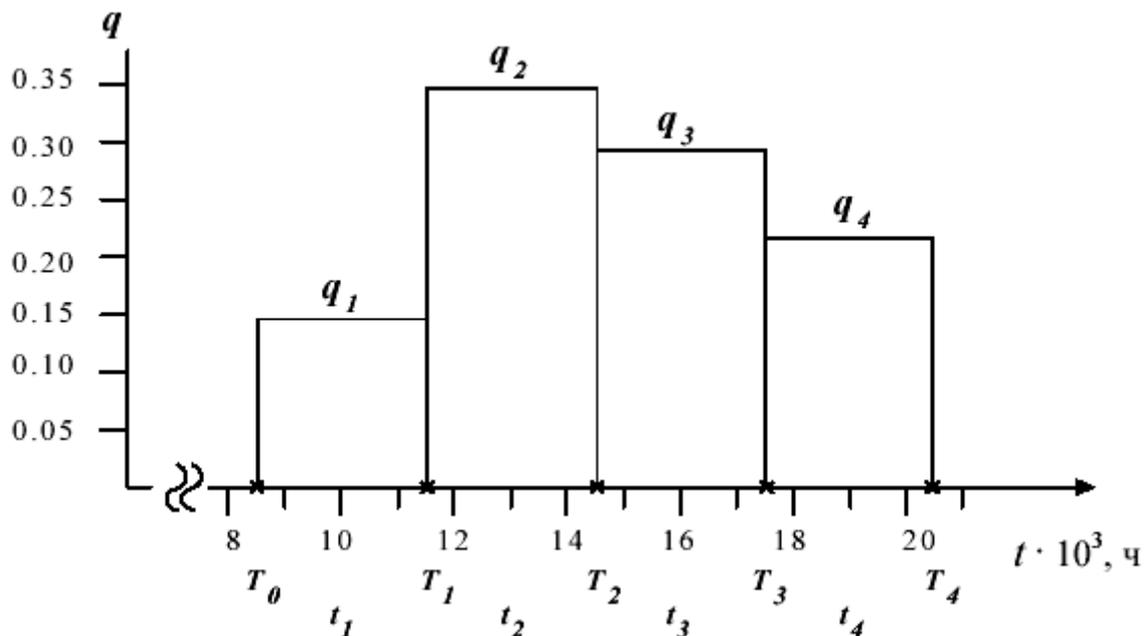


Рис. 3. Статистический ряд

С этой целью по оси абсцисс отложите разряды, и на каждом разряде постройте прямоугольник, высота которого равна статистической вероятности попадания случайной величины на данный интервал. Здесь  $T_1, \dots, T_i, \dots, T_m$  соответственно верхние границы 1-го, ...,  $i$ -го, ...,  $m$ -го интервалов, определяемые принятыми значениями  $T_0$  и  $\Delta t$ .

Статистическая вероятность  $q_i$  попадания случайной величины на  $i$ -й интервал рассчитывается как

$$q_i = \frac{n_i}{N}.$$

Подсчитайте значения  $q_i$  для всех разрядов и проверьте правильность расчетов, используя выражение:

$$\sum_{i=1}^m q_i = 1.$$

Для расчета среднего значения случайной величины в качестве «представителя» всех ее значений, принадлежащих  $i$ -му интервалу, принимают его середину  $\bar{t}_i$ . Тогда средняя наработка до отказа определяется как

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^m \bar{t}_i q_i. \quad (13)$$

Расчет с использованием формулы (13) вносит некоторую методическую ошибку. Однако ее значение обычно пренебрежимо мало. Эту ошибку в ваших расчетах оцените по формуле

$$\delta = \frac{\bar{T}(II) - \bar{T}(I)}{\bar{T}(I)} 100 \%,$$

где  $\bar{T}(I)$  и  $\bar{T}(II)$  – средние значения, вычисленные соответственно с использованием формул (12) и (13).

**Контрольный вопрос.** Каким образом можно уменьшить ошибки в расчетах с использованием второго метода?

## Практическое занятие № 8 РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ ОТКАЗОВ

**Цель работы.** Требуется рассчитать интенсивность отказов  $\lambda(t)$  для заданных значений  $t$  и  $\Delta t$ .

Затем в предположении, что безотказность некоторого блока в электронной системе управления автомобиля характеризуется интенсивностью отказов, численно равной рассчитанной, причем эта интенсивность не меняется в течение всего срока его службы, необходимо определить среднюю наработку до отказа  $T_6$  такого блока.

Подсистема управления включает в себя  $k$  последовательно соединенных электронных блоков (рис. 4).

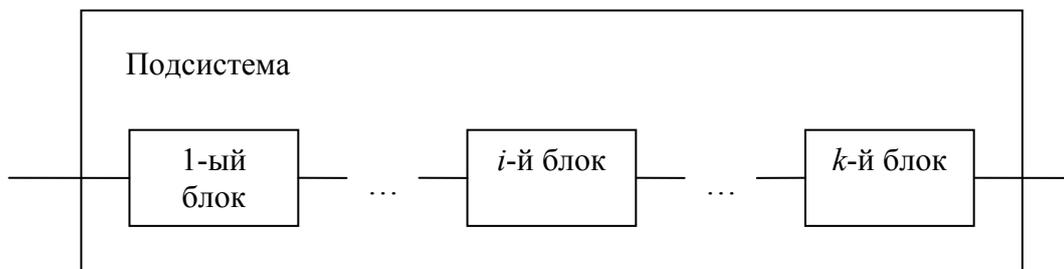


Рис. 4. Подсистема управления с последовательно включенными блоками

Эти блоки имеют одинаковую интенсивность отказов, численно равную рассчитанной. Требуется определить интенсивность отказов подсистемы  $\lambda_{\Pi}$  и среднюю наработку ее до отказа  $\bar{T}_{\Pi}$ , построить графики зависимости вероятности безотказной работы одного блока  $P_{\sigma}(t)$  и подсистемы  $P_{\Pi}(t)$  от наработки и определить вероятности безотказной работы блока  $P_{\sigma}(t)$  и подсистемы  $P_{\Pi}(t)$  к наработке  $t = T_{\Pi}$ . Значение  $k$  указано в табл. 6.

### Общие положения

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  рассчитывается по формуле

$$\lambda(t) = \frac{q(t, \Delta t)}{P(t) \cdot \Delta t}, \quad (14)$$

где  $q(t, \Delta t)$  – статистическая вероятность отказа устройства на интервале  $[t, t + \Delta t]$  или иначе – статистическая вероятность попадания на указанный интервал случайной величины  $T$ ;  $P(t)$  – рассчитанная на практическом занятии № 6 вероятность безотказной работы устройства. Напомним, что значение  $t$  определяется из табл. 5, а принятое в работе значение  $\Delta t = 3 \cdot 10^3$  ч.

Если интенсивность отказов не меняется в течение всего срока службы объекта, т.е.  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$ , то наработка до отказа распределена по экспоненциальному (показательному) закону.

В этом случае вероятность безотказной работы блока

$$P_{\sigma}(t) = e^{-\lambda t}, \quad (15)$$

а средняя наработка блока до отказа находится как

$$\bar{T}_{\sigma} = \frac{1}{\lambda}. \quad (16)$$

При последовательном соединении  $k$  блоков интенсивность отказов образуемой ими подсистемы

$$\lambda_{\Pi} = \sum_{i=1}^k \lambda_i. \quad (17)$$

Если интенсивности отказов всех блоков одинаковы, то интенсивность отказов подсистемы

$$\lambda_{\Pi} = k\lambda, \quad (18)$$

а вероятность безотказной работы подсистемы

$$P_{\Pi}(t) = e^{-\lambda_{\Pi} t} = e^{-k\lambda t}. \quad (19)$$

С учетом (16) и (18) средняя наработка подсистемы до отказа находится как

$$\bar{T}_n = \frac{1}{\lambda_n} = \frac{1}{k\lambda}. \quad (20)$$

Для расчета значений  $P_{\sigma}(t)$  и  $P_n(t)$  интервал наработки  $t$  примите равным 400 ч.

График постройте на миллиметровой бумаге, установив максимальное значение  $t = 5200$  ч, но при этом при вычислении  $P_n(t)$  расчеты можно прекратить, достигнув значения 0,05.

Соотношение (19) справедливо для экспоненциального распределения. Для любого распределения наработки до отказа вероятность безотказной работы подсистемы, состоящей из  $k$  последовательно соединенных блоков, связана с вероятностями безотказной работы этих блоков следующим соотношением:

$$P_n(t) = \prod_{i=1}^k P_i(t). \quad (21)$$

Если блоки равнонадежны, как принято в задании, то

$$P_n(t) = P_{\sigma}^k(t). \quad (22)$$

Рассчитав значение  $P_n(t)$  по формуле (22) для  $t = \bar{T}_n$ , сравните его со значением, рассчитанным по формуле (19).

**Контрольный вопрос.** В какой период эксплуатации – начальный или по мере приближения к предельному состоянию – интенсивность отказов объектов обычно резко и неуклонно возрастает и почему?

## Практическое занятие № 9 РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

**Цель работы.** Для наработки  $t = \bar{T}_n$  требуется рассчитать вероятность безотказной работы  $P_c(\bar{T}_n)$  системы (см. рис. 5), состоящей из двух подсистем, одна из которых является резервной.

### Общие положения

Расчет ведется в предположении, что отказы каждой из двух подсистем независимы, т.е. отказ первой системы не нарушает работоспособность второй и наоборот.

Вероятности безотказной работы каждой подсистемы одинаковы и равны  $P_{\Pi}(\bar{T}_{\Pi})$ . Тогда вероятность отказа одной подсистемы

$$Q_{\Pi}(\bar{T}_{\Pi}) = 1 - P_{\Pi}(\bar{T}_{\Pi}).$$

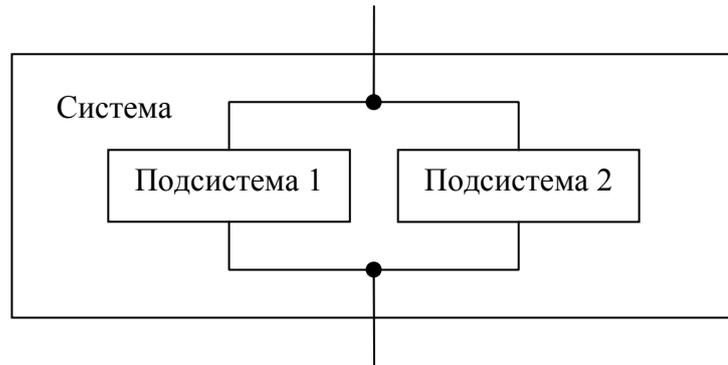


Рис. 5. Схема системы с резервированием

Вероятность отказа всей системы  $Q_c(\bar{T}_{\Pi})$  определяется из условия, что отказала и первая, и вторая подсистемы, т.е.

$$Q_c(\bar{T}_{\Pi}) = Q_{\Pi}(\bar{T}_{\Pi}) \cdot Q_{\Pi}(\bar{T}_{\Pi}) = Q_{\Pi}^2(\bar{T}_{\Pi}).$$

Отсюда вероятность безотказной работы системы

$$P_c(\bar{T}_{\Pi}) = 1 - Q_c(\bar{T}_{\Pi})$$

или иначе

$$P_c(\bar{T}_{\Pi}) = 1 - (1 - P_{\Pi}(\bar{T}_{\Pi}))^2$$

**Контрольный вопрос.** Какие недостатки вы видите в принятой схеме резервирования?

## Практическое занятие № 10 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРА

**Цель работы.** По данным табл. 9 требуется определить зависимости от наработки (пробега автомобиля) математического ожидания (среднего значения) износа шатунных шеек коленчатого вала ДВС  $\bar{y}(t)$  и дисперсии износа  $D(y(t))$ , полученные уравнения необходимо записать. Параметры искомых зависимостей следует рассчитать с использованием правила определения уравнения прямой, проходящей через две точки с известными координатами.

## Общие положения

Данное задание выполняется в предположении, что математическое ожидание (среднее значение) и дисперсия износа шатунных шеек коленчатого вала представляют собой линейные функции пробега автомобиля. Это подтверждается исследованиями, проведенными в различных автохозяйствах, и обработкой статистических данных.

Обозначим износ шеек как некоторую переменную величину  $Y$ . Зависимость  $Y$  от наработки (пробега автомобиля) представляет собой случайную функцию, реализации которой являются монотонными неубывающими функциями. Для описания такой случайной функции часто вполне достаточно знать, как меняются в зависимости от наработки ее математическое ожидание (среднее значение) и дисперсия  $\bar{y}(t)$  и  $D(y(t))$ .

Таблица 9

Результаты обработки измерений износа шатунных шеек коленчатых валов автомобильных двигателей

Расчетная величина	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Первое измерение									
Пробег $t_1$ , тыс.км	25	20	40	50	30	45	70	35	55	18
Средний износ $\bar{y}_1$ , мм	0,05 0	0,04 5	0,08 7	0,09 0	0,06 0	0,085	0,105	0,072	0,089	0,04 5
Дисперсия износа $D(y_1)$ , $\cdot 10^{-6}$ мм <sup>2</sup>	9,8	5	14,7	15,7	7,9	11,8	17,6	6	12,8	4
	Второе измерение									
Пробег $t_1$ , тыс.км	75	100	95	115	105	135	145	150	120	130
Средний износ $\bar{y}_1$ , мм	0,13 5	0,18 2	0,16 5	0,17 4	0,18 3	0,192	0,198	0,210	0,186	0,19 0
Дисперсия износа $D(y_1)$ , $\cdot 10^{-6}$ мм <sup>2</sup>	19,2	14,4	24,1	25,1	17,3	21,2	27	15,4	22,2	13,4

Исследования, проведенные в различных автохозяйствах, показывают, что для описания зависимости износа от пробега автомобиля могут быть использованы линейные функции

$$\bar{y}(t) = \bar{y}_0 + at, \text{ мм}, \quad (23)$$

$$D(y(t)) = D(y_0) + vt, \text{ мм}^2, \quad (24)$$

где  $\bar{y}_0$  и  $D(y_0)$  – среднее значение и дисперсия износа шеек при  $t = 0$ , соответственно при этом началом отсчета является последняя обточка коленвалов;  $a$  – средняя скорость увеличения износа, мм/тыс.км;  $v$  – скорость увеличения дисперсии износа, мм<sup>2</sup>/тыс. км;  $t$  – пробег автомобиля, тыс. км.

Искомые параметрами функций (23) и (24) являются  $\bar{y}_0$ ,  $a$ ,  $D(y_0)$  и  $v$ . На практике для их нахождения необходимо область возможных значений наработки (нижняя граница которой  $t = 0$ , а верхняя находится из условия достижения предельного значения износа) разбить на несколько (обычно 10 – 20) интервалов. При каждом из разделяемых этими интервалами пробегов автомобиля  $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots$  измеряют износ большого количества коленчатых валов и вычисляют соответствующие пробегам средние значения  $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \dots, \bar{y}_i, \dots$ , а затем дисперсии  $D(y_1), D(y_2), \dots, D(y_i), \dots$ . Располагая такими наборами значений  $t_i$  и  $y_i$  или  $t_i$  и  $D(y_i)$ , можно, используя метод наименьших квадратов, определить искомые зависимости  $\bar{y}(t)$  и  $D(y(t))$ .

В данной практической работе задача существенно упрощена. Предполагается, что массивы данных об износе шеек для каждого  $t_i$  уже обработаны. Считается также возможным определить искомые линейные зависимости, располагая координатами только двух точек.

В таком случае параметры  $a$  и  $v$  зависимостей (23) и (24) могут быть определены соответственно

$$a = \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{t_2 - t_1} \quad (25)$$

и

$$v = \frac{D(y_2) - D(y_1)}{t_2 - t_1}. \quad (26)$$

После этого, используя координаты любой из известных двух точек, например второй  $(t_2, \bar{y}_2)$  или  $(t_2, D(y_2))$ , можно найти два других параметра:

$$\bar{y}_0 = \bar{y}_2 - \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{t_2 - t_1} t_2, \quad (27)$$

$$D(y_0) = D(y_2) - \frac{D(y_2) - D(y_1)}{t_2 - t_1} t_2. \quad (28)$$

Подставив значения (25) – (28) в уравнения (23) и (24), получите выражения, определяющие зависимости от пробега среднего износа шатунных шеек ДВС и дисперсии износа:

$$\bar{y}(t) = \bar{y}_2 - \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{t_2 - t_1} t_2 + \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_1}{t_2 - t_1} t$$

и

$$D(y(t)) = D(y_2) - \frac{D(y_2) - D(y_1)}{t_2 - t_1} t_2 + \frac{D(y_2) - D(y_1)}{t_2 - t_1} t.$$

Выполните необходимые вычисления и запишите полученные выражения (23) и (24) с числовыми значениями параметров.

**Контрольный вопрос.** Могут ли исходные значения среднего износа шеек  $\bar{y}_0$  и дисперсии износа  $D(y_0)$ , соответствующие  $t = 0$ , быть равными 0? Отрицательными числами?

## Практическое занятие № 11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА ИЗДЕЛИЯ

**Цель работы.** Требуется рассчитать средние значения  $\{\bar{y}(t_i)\}$ , дисперсии  $\{D(y(t_i))\}$  и средние квадратические отклонения  $\{\sigma(y(t_i))\}$  износа при нескольких значениях пробега, пользуясь зависимостями, полученными в предыдущей работе. Затем требуется для тех же значений пробега определить нижнюю  $y(t_i)_{\min}$  и верхнюю  $y(t_i)_{\max}$  границы практически возможных значений износа. Результаты расчетов следует занести в табл. 9 и построить по ним линии, представляющие собой зависимость среднего износа шеек от пробега, нижнюю и верхнюю границы практически возможных значений износа.

### Общие положения

Предельное значение  $y_{\text{пр}}$  износа шеек коленчатых валов ДВС типа ЧН21/21 установлено равным 1,7 мм. На практике обточку стремятся производить при прокате 1,5 мм, поэтому при выполнении практической работы примите  $y_{\text{пр}}$  равным 1,5 мм. Заданный пробег указан в табл. 11.

Заполните табл. 10, последовательно вычисляя по формулам, полученным при выполнении работы № 9, для различных значений пробега автомобиля. Среднеквадратические отклонения рассчитайте по формуле

$$\sigma(y_i) = \sqrt{D(y_i)},$$

где  $i$  – номер интервала в табл. 9.

Таблица 10

Результаты расчета средних значений, дисперсий и средних квадратических отклонений износа шеек коленчатых валов

Величина	Пробег, тыс. км					
	0	50	100	...	300	350
1. Средний износ $\bar{y}(t)$ , мм						
2. Дисперсия износа $D(y(t))$ , мм <sup>2</sup>						
3. Среднее квадратическое отклонение износа $\sigma(y(t))$ , мм						
4. Утроенное значение $3\sigma(y(t))$ , мм						
5. Нижняя граница $y(t)_{\text{min}}$						
6. Верхняя граница $y(t)_{\text{max}}$						

Таблица 11

Заданный пробег  $T_3$

Последняя цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Заданный пробег $T_3$ , тыс. км	150	240	170	230	190	280	180	260	160	250

Принятой модели процесса износа шейки, определяемой выражениями (23) и (24), соответствует такое постепенное увеличение износа, при котором среднее значение и дисперсия приращения из-

носа за некоторый интервал пробега  $\Delta t$  пропорциональны длине этого интервала и не зависят от достигнутого значения  $y$ . В таком случае вполне допустимо, основываясь на основных теоремах теории вероятностей, считать, что для любого  $t_i$  (пока  $y < y_{np}$ ) значения износа распределены по нормальному закону с плотностью распределения

$$f(y_i) = \frac{1}{\sigma(y_i) \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-\bar{y}_i)^2}{2\sigma^2(y_i)}}.$$

Сужение области определения функции  $f(y_i)$  до интервала  $[0, y_{np}]$  практически не оказывает влияния на результаты расчетов.

Для нахождения области практически возможных значений случайной величины  $Y_i$ , распределенной по нормальному закону, пользуются “правилом трех сигм”. В соответствии с этим правилом для каждого пробега автомобиля  $t_i$  верхняя и нижняя границы практически возможных значений износа шеек находятся как

$$y(t_i)_{\max, \min} = \bar{y}_i \pm 3\sigma(y_i). \quad (29)$$

Кривые, показывающие верхнюю и нижнюю границы практически возможных значений износа, определяются выражениями

$$y(t)_{\max} = \bar{y}_0 + at + 3\sqrt{D(y_0) + vt}, \quad (30)$$

$$y(t)_{\min} = \bar{y}_0 + at - 3\sqrt{D(y_0) + vt}. \quad (31)$$

Полученные зависимости иллюстрирует рис. 6.

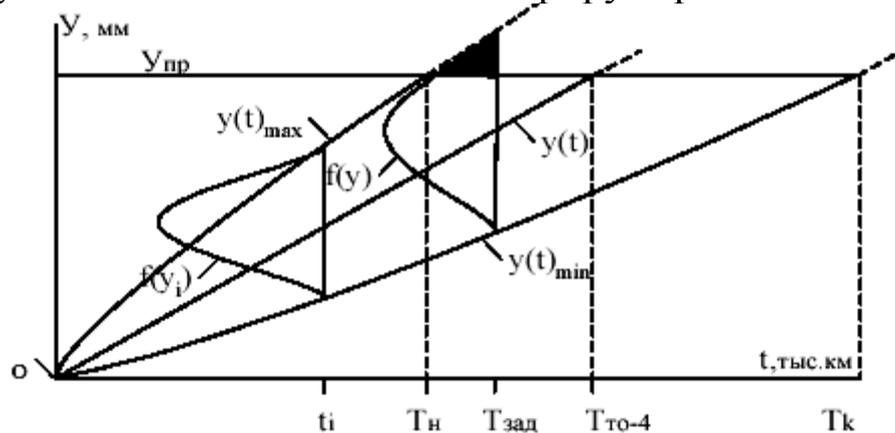


Рис. 6. Зависимость среднего износа шеек коленчатых валов от пробега

Изображая на таких графиках кривую распределения, подразумевают, что оси  $f(y_i)$  и  $f(y)$  направлены перпендикулярно плоскости  $t_0y$ .

По результатам расчетов, сведенным в табл. 9, постройте график зависимости среднего износа шеек от пробега (см. рис. 7). Проведите на графике прямую  $y = y_{\text{пр}}$ . Пользуясь данными табл. 8, постройте на этом же графике кривые, показывающие верхнюю и нижнюю границы практически возможных значений износа шеек. Покажите на графике обе исходные точки  $(t_1, y_1), (t_2, y_2)$  и отметьте их координаты.

При построении графика рекомендуется использовать следующий масштаб: пробег – в 1мм 1 тыс. км, износ – в 1мм 0,01мм износа.

**Контрольный вопрос.** Имеет ли смысл при заданных условиях вычислять значения среднего износа и дисперсии износа для наработки  $t = 360$  тыс. км и более?

## **Практическое занятие № 12** **РАСЧЕТ НАРАБОТКИ ДО РЕМОНТА**

**Цель работы.** Требуется рассчитать  $\bar{T}$  – средний пробег (наработку) до текущего ремонта, а также наименьший  $T_{\text{н}}$  и наибольший  $T_{\text{к}}$  практически возможные пробеги до обточки шеек коленчатых валов по износу.

Далее необходимо рассчитать  $\Psi$  – вероятность того, что к заданному пробегу  $T_3$  будет произведена обточка шеек коленчатого вала по износу.

### **Общие положения**

При расчете вероятности воспользуйтесь графиком, приведенным на рис. 7, или таблицами значений нормальной функции распределения, приведенными в учебниках по теории вероятностей.

Текущий ремонт представляет собой обточку шатунных шеек коленчатых валов с разборкой ДВС. Факторами, определяющими необходимость производства обточки шатунных шеек, могут быть увеличение износа до предельного значения, проявление дефектов на поверхности скольжения, необходимость уравнивать диаметры шеек коленчатых валов для постановки вкладышей ремонтных градаций и др. В данной работе будем считать, что основной причиной

постановки автомобиля на ремонт является увеличение износа шеек, что вполне соответствует практике работы большинства автохозяйств.

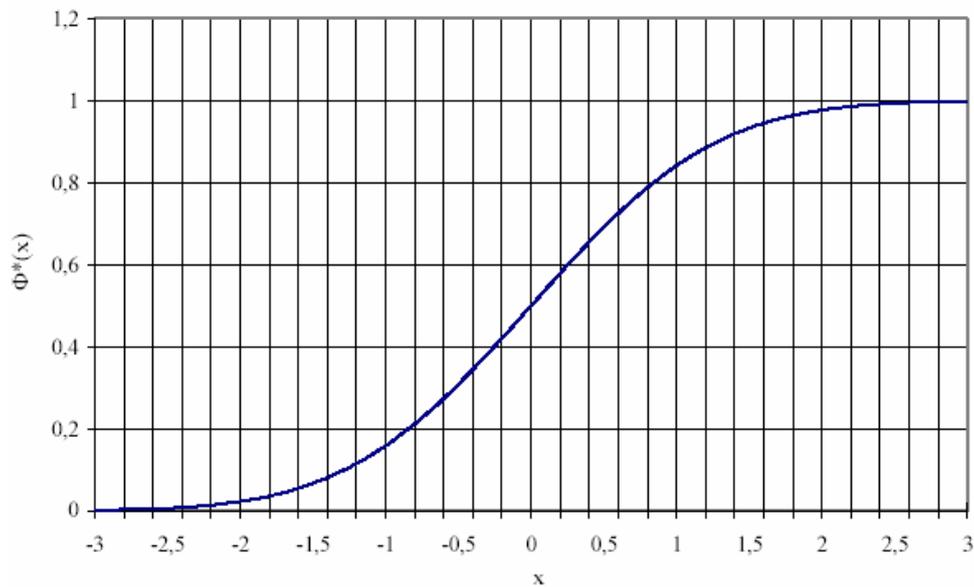


Рис. 7. График функции  $\Phi^*(x)$

При таком условии средний пробег до текущего ремонта можно рассчитать, подставив в выражение (23) значение  $y(t) = y_{\text{пр}}$ :

$$\bar{T}_{\text{тр}} = \frac{y_{\text{пр}} - \bar{y}_0}{a}.$$

Чтобы найти практически наименьший  $T_{\text{н}}$  и наиболее поздний  $T_{\text{к}}$  сроки производства текущего ремонта, необходимо подставить  $y(t)_{\text{max}} = y_{\text{пр}}$  и  $y(t)_{\text{min}} = y_{\text{пр}}$  соответственно в выражения (30) и (31).

Выполнив необходимые преобразования, находим:

$$T_{\text{н}} = \frac{9v + 2a(y_{\text{пр}} - \bar{y}_0) - \sqrt{9v + 2a^2(y_{\text{пр}} - \bar{y}_0) - 4a^2(y_{\text{пр}} - \bar{y}_0)^2 - 9D(y_0)}}{2a^2}, \text{ тыс. км};$$

$$T_{\text{к}} = \frac{9v + 2a(y_{\text{пр}} - \bar{y}_0) + \sqrt{9v + 2a^2(y_{\text{пр}} - \bar{y}_0) - 4a^2(y_{\text{пр}} - \bar{y}_0)^2 - 9D(y_0)}}{2a^2}, \text{ тыс. км}.$$

На рис. 7 плотность распределения износа при наработке, соответствующей заданному пробегу  $T_3$ , обозначена как  $f(y)$ . Часть, лежащая выше  $y_{\text{пр}}$ , является мнимой, поскольку превышение предельного значения износа недопустимо. Заштрихованная площадь соответствует вероятности того, что к пробегу  $T_3$  уже будет произведена обточка шеек. Эта вероятность находится как

$$\Psi = 1 - F(y_{\text{пр}}),$$

где

$$F(y_{\text{пр}}) = \frac{1}{\sigma(y) \cdot \sqrt{2\pi}} \int_0^{y_{\text{пр}}} e^{-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma^2(y)}} dy. \quad (32)$$

В формуле (32)  $\bar{y}$  – среднее значение износа, находимое путем подстановки  $t = T_3$  в выражение (23). Среднее квадратическое отклонение  $\sigma(y)$  рассчитайте путем подстановки  $t = T_3$  в выражение (24)

$$\sigma(y_i) = \sqrt{D(y_0) + vT_3}.$$

Интеграл (32) не выражается через элементарные функции, поэтому для его вычисления пользуются таблицами нормальной функции распределения  $\Phi^*(x)$ . Эта функция характеризует распределение случайной величины  $X$ , у которой математическое ожидание равно 0 и  $\sigma(x) = 1$ .

Выразить функцию распределения (32) через нормальную функцию распределения можно с помощью выражения

$$F(y_{\text{пр}}) = \Phi^*(x),$$

где  $x$  находится в результате замены переменной как

$$x = \frac{y_{\text{пр}} - \bar{y}}{\sigma(y)}.$$

По рассчитанному значению  $x$  найдите по таблицам или с помощью графика, приведенного на рис. 8, значение  $\Phi^*(x)$  и далее  $\Psi$ . Убедитесь, что в силу симметрии нормального распределения с математическим ожиданием, равным 0, относительно начала координат

$$\Phi^*(-x) = 1 - \Phi^*(x).$$

**Контрольный вопрос.** Чему равна вероятность производства обточки шеек коленчатых валов к моменту  $t = T_{\text{пр}}$ ?

## Библиографический список

1. ГОСТ 25478-91. Автотранспортные средства. Требования к техническому состоянию по условиям безопасности движения. Методы проверки. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 33 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 24 с.
3. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 9 с.
4. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 9 с.
5. ГОСТ 27518-87. Диагностирование изделий. Общие требования. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 4 с.
6. Сорин, Я. М. Физическая сущность надежности / Я. М. Сорин. – М. : Изд-во комитета стандартов, 1969. – 80 с.
7. Каллакот, Р. А. Диагностирование механического оборудования / Р. А. Каллакот ; пер. с англ. – Л. : Судостроение, 1980. – 248 с.
8. Левин, Б. Р. Теория надежности радиотехнических систем / Б. Р. Левин. – М. : Совет. радио, 1978. – 264 с.
9. Бельских, В. И. Диагностика технического состояния и регулировка тракторов / В. И. Бельских. – М. : Колос, 1973. – 495 с.
10. Техническая эксплуатация автомобилей: учеб. для вузов / под ред. Е. С. Кузнецова. – М. : Транспорт, 1991. – 413 с.
11. Гурвич, И. Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей / И. Б. Гурвич, П. Э. Сыркин, В. И. Чумак. – М. : Транспорт, 1994. – 141 с. – ISBN 5-7045-0381-0.
12. Аринин, И. Н. Диагностирование технического состояния автомобилей / И. Н. Аринин. – М. : Транспорт, 1978. – 176 с.
13. Борц, А. Д. Диагностирование технического состояния автомобиля / А. Д. Борц, Я. Х. Закин, Ю. В. Иванов. – М. : Транспорт, 1979. – 179 с.
14. Авдонькин, Ф. И. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей / Ф. И. Авдонькин. – М. : Транспорт, 1985. – 215 с.
15. Серов, А. Г. Диагностика и управление состоянием систем / А. Г. Серов. – М. : Знание, 1974. – 385 с.

16. Калявин, В. П. Надежность и техническая диагностика электрооборудования и автоматика / В. П. Калявин, А. В. Мозгалевский. – СПб. : Элмор, 1996. – 296 с. – ISBN 5-7399-0099-9.

17. Сергеев, А. Г. Метрологическое обеспечение эксплуатации технических систем / А. Г. Сергеев. – М. : Росвузнаука, 1994. – 488 с. – ISBN 5-7045-0381-0.

18. Основы теории надежности и диагностика: рабочая программа, задания на контрольные работы, методические указания к выполнению контрольных работ. – СПб. : СЗТУ, 2004. – 42 с.

### Оглавление

1. Практическое занятие № 1. Оптимизация выбора измерительных средств диагностирования.....	3
2. Практическое занятие № 2. Разработка методики выполнения измерений.....	8
3. Практическое занятие № 3. Методы поверки средств измерений и локальные поверочные схемы.....	12
4. Практическое занятие № 4. Разработка методики поверки средств технической диагностики АТС.....	21
5. Практическое занятие № 5. Оптимизация межповерочных интервалов средств измерений.....	28
6. Практическое занятие № 6. Определение вероятности безотказной работы.....	32
7. Практическое занятие № 7. Расчет средней наработки до отказа.....	35
8. Практическое занятие № 8. Расчет интенсивности отказов.....	38
9. Практическое занятие № 9. Расчет вероятности безотказной работы системы.....	40
10. Практическое занятие № 10. Определение математической модели изменения параметра.....	41
11. Практическое занятие № 11. Определение наработки до отказа изделия.....	44
12. Практическое занятие № 12. Расчет наработки до ремонта.....	47
Библиографический список.....	50

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ ПО КУРСУ  
«МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ»

Составители

**Романов Виктор Николаевич**

**Суслов Иван Евгеньевич**

Ответственный за выпуск зав. кафедрой доцент Ю.А. Орлов

Подписано в печать 11.05.07.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 3,02. Тираж 120 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.