

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
Тихоокеанский государственный университет

Институт транспорта и энергетики

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВСЕХ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ

по дисциплине

«Основы теории надежности и диагностики»

*Для специальности (направления)*

180403.65 – «Эксплуатация судовых энергетических установок»

УММ разработан в соответствии с составом УМКД

УММ разработал \_\_\_\_\_ Г.Б. Горелик

УММ утвержден на заседании кафедры

Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.А. Лашко

\_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

## Общие указания по лабораторным работам

1. Задания на выполнение каждой работы выдаются преподавателем индивидуально каждому студенту после изучения теоретических вопросов и рассмотрения примеров выполнения;
2. Основным учебным пособием для выполнения лабораторных работ является учебное пособие Г.Б. Горелика «Основы теории надежности и диагностики».

### Лабораторная работа №1

#### Задача обработки статистических данных

Определение необходимого объема выборки. Для установления закона распределения случайной величины выборка должна быть однородной и представительной. Как правило принимают объем выборки 20...100 объектов наблюдения. При планировании обычно пользуются формулой

$$N = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot \sigma^2}{\varepsilon^2},$$

где  $N$  - объем выборки;  
 $t_{\alpha}$  - критерий Стьюдента. Для инженерных расчетов принимают  $\alpha = 0,95$  (принятая точность расчета) и  $t_{\alpha} = 1,96$  или соответственно 0,9 и 1,64;  
 $\varepsilon$  - абсолютная предельная ошибка измерений;  
 $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение выборки, определяется по формуле (3.2) из учебного пособия.

Исключение грубых ошибок измерений. При сборе информации могут быть получены результаты, значительно отличающиеся от среднего результата данной серии наблюдений из-за ошибок измерений, ошибок вычислений, из-за субъективных причин. Необходима отбраковка подозрительных результатов путем отсева резко выделяющихся результатов наблюдений. Для

определения области допустимых значений случайной величины  $X$  используют «правило трех среднеквадратических отклонений  $\sigma$ ».

Например, получено шесть значений какой либо случайной величины  $X$ : 4, 5, 6, 16, 7, 3. Измерение «16» вызывает подозрение. Тогда, отбросив этот результат, определим среднее значение

$$X_{cp} = \frac{4 + 5 + 6 + 7 + 3}{5} = 5. \quad \text{Среднее квадратическое отклонение}$$

составит

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(4-5)^2 + (5-5)^2 + (6-5)^2 + (7-5)^2 + (3-5)^2}{5-1}} = 2,5.$$

Тогда допустимый разброс значений составит  $X_{cp} \pm 3 \cdot \sigma = 5 \pm 3 \cdot 2,5$ . Таким образом, измерение «16» не входит в область допустимых значений и поэтому отбраковывается.

## Лабораторная работа №2 Определение характеристики распределения по результатам опыта.

Полученные в результате сбора информации материалы статистики наработок дизелей (агрегатов, систем деталей) группируются и распределяются по эквидистантным интервалам. Число интервалов  $K$  должно быть не меньше 7. Величина интервала группирования определяется по формуле

$$\Delta X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K},$$

где  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  - наибольшее и наименьшее значение случайной величины в выборке.

Далее заполняется таблица 1 в соответствии с принятыми обозначениями.

Определяются числовые характеристики распределения случайной величины  $X$

$$X_{cp} = \sum_1^k \frac{\bar{X}_i m_i}{N}.$$

Экспериментальные данные в удобной для расчетов форме

Но мер интервала	Границы интервалов $[X_i; X_{i+1}]$	Середины интервалов $\bar{X}_i$	Кол-во попаданий в интервалы
1	$X_{\min}; X_{\min} + \Delta X$	$(X_1 + X_2)/2$	$m_1$
2	$X_{\min} + \Delta X; X_{\min} + 2\Delta X$	$(X_2 + X_3)/2$	$m_2$
.....	.....	.....	.....
$K$	$X_{\max} - \Delta X; X_{\max}$	$(X_{k-1} + X_k)/2$	$m_k$

Среднее квадратическое отклонение.

$$\sigma = \sqrt{\frac{K}{K-1} \left( \sum_1^K \frac{\bar{X}_i^2 m_i}{N} \right) - X_{cp}^2}.$$

Коэффициент вариации.

$$V = \frac{\sigma}{X_{cp}}.$$

Определяется закон распределения по условию.

1. Если коэффициент вариации  $V \leq 0,33$ , то распределение следует нормальному закону, а параметр формы  $b$  определяется из таблицы 3.7;
2. Если  $0,33 < V \leq 0,99$ , то экспериментальные данные описываются законом Вейбулла, а параметр формы  $b$  определяется из таблицы 2;

Если  $V \approx 1$ , то имеет место экспоненциальный закон распределения, а параметр формы  $b$  определяется из таблицы 2. Для нормального закона распределения следует принять в формуле 3.1 [1]  $t = X_i$  и  $a = X_{cp}$ .

Для распределения Вейбулла параметр масштаба распределения рассчитывается по формуле

$$a = \frac{X_{cp}}{\Gamma(1 + \frac{1}{b})},$$

где  $\Gamma(\alpha)$  - гамма-функция Эйлера, определяется для выбранного  $\alpha = (1 + \frac{1}{b})$  из табл. 3.

Табл. 2

Зависимость между коэффициентом вариации и параметром формы

V	0,31	0,365	0,428	0,444	0,461	0,480	0,498	0,523	0,547	0,575
b	3,5	3,0	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8
V	0,605	0,640	0,678	0,723	0,775	0,837	0,910	1	1,11	1,26
b	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8

Табл. 3

Значения гамма-функции Эйлера

$\alpha$	$\Gamma(\alpha)\alpha$	$\Gamma(\alpha)$	$\alpha$	$\Gamma(\alpha)$	$\alpha$	$\Gamma(\alpha)$
1,00	1,000	1,30	0,897	1,60	0,893	1,90
1,05	0,973	1,35	0,891	1,65	0,900	1,95
1,10	0,951	1,40	0,887	1,70	0,906	2,00
1,15	0,935	1,45	0,885	1,75	0,919	
1,20	0,920	1,50	0,886	1,80	0,931	
1,25	0,905	1,55	0,888	1,85	0,945	

Проверяется степень согласия экспериментальных данных и аппроксимирующего их закона распределения при помощи критерия согласия  $\chi^2$  - Пирсона.

Должно выполняться неравенство

$$P(\chi^2; r) > 0,1, \quad (1)$$

где  $P(\chi^2; r)$  - значения вероятности закона Пирсона в зависимости от числа степеней свободы  $r$  и величины  $\chi^2$  определяются из табл. 4;

При этом  $\chi^2$  рассчитывается по формуле (с округлением)

$$\chi^2 = \sum_1^n \frac{(m_{\text{э}i} - m_{\text{т}i})^2}{m_{\text{т}i}},$$

где  $m_{\text{т}i}$  - теоретические частоты попадания в интервалы

$$m_{\text{т}i} = f(\bar{X}_i) \cdot \Delta X \cdot N; \quad (3.4)$$

$f(\bar{X}_i)$  - значения плотности вероятности для середин интервалов разбиения, определяются по формулам 3.1 и 3.2 [1];

$m_{\text{э}i}$  - экспериментальные частоты попадания.

Число степеней свободы  $Ч = K - 3$ ,

где  $K$  - число интервалов разбиения выборки.

При выполнении неравенства (1) принятый закон не опровергается, иначе следует подобрать другой закон распределения или увеличить объем выборки, расчет провести повторно.

Табл. 4  
Значения вероятностей закона Пирсона в зависимости от числа степеней свободы  $r$  и значения хи-квадрат

$\chi^2$	Число степеней свободы $r$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,317	0,606	0,801	0,909	0,962	0,985	0,994	0,998
2	0,157	0,367	0,572	0,735	0,849	0,919	0,959	0,961
3	0,083	0,223	0,391	0,557	0,700	0,808	0,885	0,934
4	0,045	0,135	0,261	0,406	0,549	0,676	0,779	0,857
5	0,025	0,082	0,171	0,287	0,415	0,543	0,660	0,757
6	0,011	0,049	0,111	0,199	0,306	0,423	0,539	0,647
7	0,008	0,030	0,071	0,135	0,220	0,320	0,428	0,536
8	0,004	0,018	0,046	0,091	0,156	0,238	0,332	0,433
9	0,002	0,011	0,029	0,061	0,109	0,173	0,252	0,343
10	0,001	0,006	0,018	0,040	0,075	0,124	0,188	0,265
11	0,000	0,004	0,011	0,026	0,051	0,088	0,138	0,201
12		0,002	0,007	0,017	0,034	0,062	0,100	0,151
13		0,001	0,004	0,011	0,023	0,043	0,072	0,111

Результаты расчетов сводятся в таблицу 5, далее приводятся полученные оценки достоверности экспериментального распределения в соответствии с вышеизложенной методикой.

Построение гистограммы распределения экспериментальных данных и кривой теоретического закона их описывающего. Пример такого построения приведен на рис. 1, а порядок построения очевиден.

Табл. 5

К обработке результатов экспериментального закона распределения

Границы интервалов $[X_i \dots X_{i+1}]$	Середины интервалов $\bar{X}_i$	Опытные частоты попадания в интервалы	Плотность вероятностей $f(\bar{X}_i)$	Теоретические частоты попадания в интервал
$X_1 - X_2$	$\bar{X}_1$	$m_{\varepsilon 1}$	$f(\bar{X}_1)$	$m_{m1}$
$X_2 - X_3$	$\bar{X}_2$	$m_{\varepsilon 2}$	$f(\bar{X}_2)$	$m_{m2}$
.....	.....	.....	.....	.....
$X_{K-1} - X_K$	$\bar{X}_K$	$m_{\varepsilon K}$	$f(\bar{X}_K)$	$m_{mK}$

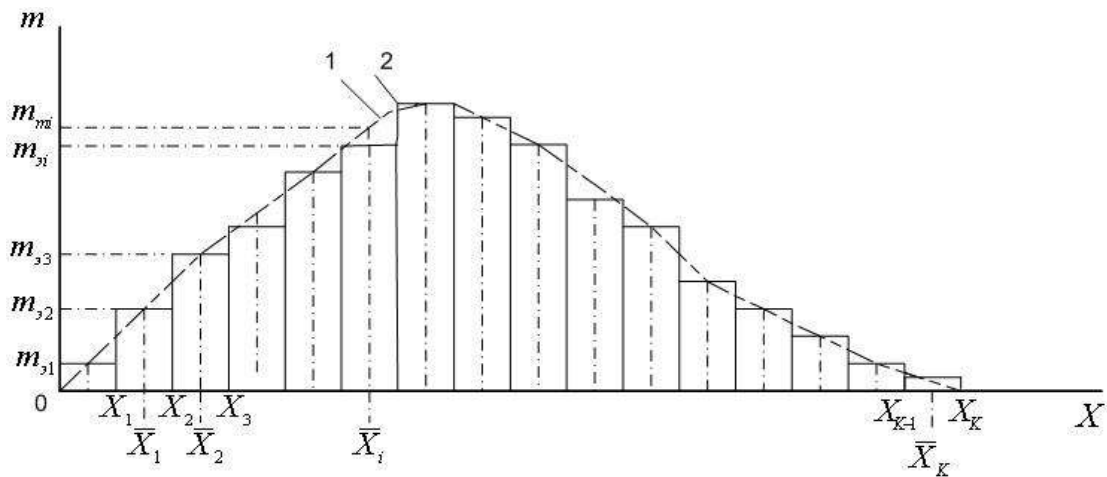


Рис. 1. Гистограмма распределения случайной величины и выравнивающая ее теоретическая кривая:

1- теоретическая кривая; 2- экспериментальная кривая

На основании полученных материалов производится дальнейшая обработка результатов: определяется дисперсия эксперимента, определяются математическое ожидание отказа и показатели безотказности, долговечности, сохраняемости или ремонтпригодности в зависимости от постановки задачи. Представленные выше методы обработки экспериментальных данных позволяют решать многие производственные задачи на основе изучения и исследования закономерностей изменения технического состояния судовой техники. Это позволяет

разрабатывать и применять научно обоснованные методы поддержания изделий в технически исправном состоянии.

## Лабораторная работа №3

### 1.1 Общие положения по расчету показателей надежности

В основу главы положены методы расчета количественных показателей надежности, введенные отраслевым стандартом. Расчеты выполняются на базе собранной информации с мест эксплуатации технических изделий. При суммарном числе таких случайных величин как отказы или износы, превышающем 25, следует их группировать по видам. При этом шаг интервала наработки  $h$  при группировке случайных величин необходимо определять по уравнению

$$h = \frac{t_{\text{макс}} - t_{\text{мин}}}{1 + 3,31 \lg m}, \quad (1)$$

где  $t_{\text{макс}}$  - максимальная наработка в распределении случайных величин;

$t_{\text{мин}}$  - минимальная наработка;

$m$  - суммарное число случайных величин.

Полученное значение шага интервала наработки следует округлять в пределах  $\pm 50$  ч ( $\pm 1000$  км пробега тепловоза) так, чтобы окончательное его значение было кратным наработке, в течение которой оценивается показатель надежности. Количество интервалов должно быть не менее 5.

Для оценки достоверности полученных при расчетах значений показателей надежности должна определяться верхняя или нижняя доверительная граница при заданной односторонней доверительной вероятности  $\beta$ . Для всех вычислений следует применять вероятность  $\beta = 0,80$ . В стандарте приведены также данные, для расчета с односторонними доверительными вероятностями 0,90, 0,95 и 0,99.



Наличие доверительной границы показателя надежности позволяет утверждать, что его истинное численное значение с вероятностью  $\beta$  лежит в диапазоне менее численного значения «верхней доверительной границы» и более численного значения «нижней» доверительной границы. Относительная ошибка  $\delta$ , характеризующую точность полученных результатов, определяется по выражению

$$\delta = \frac{P_B - P}{P}; \quad \delta = \frac{P - P_H}{P}, \quad (2)$$

где  $P_B$  и  $P_H$  - соответственно верхняя и нижняя односторонние доверительные границы;  
 $P$  - полученное расчетом значение показателя.

Относительная ошибка  $\delta$  не должна быть более 0,20. Для повышения точности следует увеличивать объем наблюдений.

В обоснованных случаях по согласованию с изготовителем допускается применение не установленных в стандарте методов расчета показателей надежности, предусмотренных в нормативно-технической документации потребителей дизельной продукции.

Методы сбора и обработки информации о надежности, выбора плана и объема наблюдений должны соответствовать ОСТ 24.060.04-79.

Определения терминов, использованных в стандарте, по ГОСТ 4.52-79, ГОСТ 10150-88, ГОСТ 13377-87, ГОСТ 21623-76, ГОСТ 18322-78, ОСТ 24.060.04-79 и ОСТ 24.060.08-79.

## 1.2. Методика расчета показателей безотказности дизеля

Расчет показателей безотказности дизеля осуществляется на основании экспоненциального закона распределения наработки на отказ, являющегося частным случаем закона Пуассона, характеризующегося условием

$$\varpi = const ,$$

где  $\varpi$  - среднее число отказов на единицу наработки.

Должны учитываться явные отказы (обнаруженные при эксплуатации), приведшие к вынужденной остановке дизелей, а также скрытые (обнаруженные при плановых технических

обслуживаниях или ремонтах) независимые отказы деталей, восстановление работоспособности при которых не предусмотрено "Руководством по эксплуатации".

Значения показателя  $\varpi$  определяются для периодов эксплуатации дизелей, характеризующихся стационарностью потока отказов.

Для случая, когда данные не сгруппированы, среднее число отказов на единицу наработки  $\varpi$  должно определяться по формуле

$$\varpi = \frac{\sum_{i=1}^N m_i}{\sum_{i=1}^N t_i}, \quad (3)$$

где  $m_i$  - количество отказов  $i$ -го дизеля;

$t_i$  - наработка  $i$ -го дизеля за период наблюдений;

$N$  - количество дизелей, находившихся под наблюдением.

Для случая, когда данные сгруппированы

$$\varpi = \frac{\sum_{j=1}^K m_j}{\sum_{i=1}^N t_i}, \quad (4)$$

где  $m_j$  - количество отказов в  $j$ -ом интервале наработки;

$j = 1, 2, \dots, K$  - порядковые номера интервалов наработки.

Верхняя доверительная граница  $\omega_B$  для полученного значения  $\varpi$  определяется как

$$\omega_B = \frac{\varpi}{r_\beta}, \quad (5)$$

где  $r_\beta$  - коэффициент, определяемый на основании распределения «Хи - квадрат» по табл. 5 в зависимости от числа степеней свободы, равного суммарному количеству отказов (см. гл. 3 [3]), и односторонней доверительной вероятности  $\beta$ .

Для оценки эффективности мероприятий по повышению безотказности или оценки влияния различных режимов и условий эксплуатации на безотказность дизелей одинакового исполнения следует определять значимость разности численных значений  $\varpi_1$  и  $\varpi_2$  рассматриваемых совокупностей дизелей.

Значимость разности оценивается коэффициентом значимости  $Z$ , который должен определяться по формуле

$$Z = \frac{(\varpi_2 - \varpi_1) \cdot r_\beta}{\varpi_1 \cdot (1 - r_\beta)}, \quad (6)$$

где  $\varpi_1$  - среднее число отказов на единицу наработки дизелей исходной совокупности;

$\varpi_2$  - совокупность дизелей, для которой предполагается изменение безотказности;

$r_\beta$  - коэффициент, определяемый из табл. 5 для дизелей исходной совокупности.

Таблица 5

Число степеней свободы	Значения коэффициента $r_\beta$			
	Доверительная вероятность $\beta$			
	0,80	0,90	0,95	0,99
1	0,33	0,20	0,21	0,15
2	0,47	0,38	0,32	0,24
3	0,55	0,45	0,39	0,30
4	0,60	0,50	0,44	0,35
5	0,63	0,54	0,48	0,38
6	0,66	0,57	0,51	0,41
7	0,68	0,59	0,53	0,44
8	0,70	0,62	0,55	0,46
9	0,72	0,63	0,57	0,48
10	0,73	0,65	0,59	0,50
11	0,74	0,66	0,60	0,51
12	0,75	0,67	0,62	0,53
13	0,76	0,69	0,63	0,54
14	0,77	0,69	0,64	0,55
15	0,78	0,70	0,65	0,56
18	0,80	0,72	0,67	0,59

20	0,81	0,74	0,69	0,60
25	0,83	0,76	0,72	0,64
30	0,84	0,78	0,74	0,66
40	0,87	0,81	0,77	0,70
50	0,88	0,83	0,79	0,73
60	0,89	0,84	0,81	0,75
70	0,90	0,85	0,82	0,76
80	0,90	0,86	0,83	0,78
90	0,91	0,87	0,84	0,79
100	0,91	0,88	0,85	0,80
150	0,93	0,90	0,87	0,83
200	0,94	0,91	0,89	0,85
300	0,95	0,93	0,91	0,88
500	0,96	0,94	0,93	0,90
750	0,97	0,95	0,94	0,92
1000	0,97	0,96	0,95	0,93

Для расчета следует брать абсолютное значение разности  $\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_1$ .

При  $z \leq 1$  считается, что разность  $\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_1$  с доверительной вероятностью  $\beta$  является не значимой, качество дизелей существенно не изменилось, или различие условий эксплуатации не оказывает существенного влияния на безотказность дизелей.

При  $z > 1$  считается, что разность  $\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_1$  с доверительной вероятностью  $\beta$  является значимой, мероприятия по повышению безотказности являются эффективными или различие условий эксплуатации оказывает существенное влияние на безотказность дизелей.

Наработка на отказ  $T_{отк.н}$  является величиной, обратной среднему числу отказов на единицу наработки  $\bar{\omega}$

$$\bar{T} = \frac{1}{\bar{\omega}} \quad (7)$$

Нижняя доверительная граница наработки на отказ  $T_{отк.н}$  для заданной односторонней доверительной вероятности  $\beta$  должна определяться по формулам

$$T_{отк.н} = \frac{1}{\omega_B} \quad \text{или} \quad T_{отк.н} = \bar{T}_{отк.н} \cdot r_{\beta} \quad (8)$$

Вероятность безотказной работы должна определяться по выражению

$$\bar{P}(t) = e^{-\omega t}, \quad (9)$$

где  $e$  - основание натуральных логарифмов;

$t$  - заданное значение наработки.

Нижняя доверительная граница вероятности безотказной работы должна определяться по выражению

$$P_H(t) = e^{-\omega_B t}. \quad (10)$$

Коэффициент отказа дизеля  $K_{отк}$ , характеризующий долю отказов по вине детали (сборочной единицы) данного наименования, следует определять по формуле

$$K_{отк} = \frac{m_D}{m}, \quad (11)$$

где  $m_D$  - суммарное количество отказов детали (сборочной единицы) данного наименования, приведших к отказу наблюдаемой совокупности;

$m$  - суммарное количество отказов дизелей.

Показатели безотказности следует определять, при необходимости, отдельно по отказам различных групп сложности (устраняемых текущим ремонтом, капитальным ремонтом, неустранимых и т.п.), отказам, приводящих к отказу объекта конечного потребления, а также эксплуатационным, производственным, конструкционным отказам.

### 1.3. Примеры расчета показателей надежности

#### Пример I. Определение показателей безотказности главных судовых дизелей

*Определить показатели безотказности главных судовых дизелей за ресурс до первой переборки в условиях эксплуатации на речных судах и выборе плана наблюдений  $[N, R, T]$  согласно ОСТ 24.060.04-79. Выборочная совокупность составляет  $N=25$  дизелей. Наработка дизелей за время наблюдения составляла в среднем по*

3,5 тыс. ч, что соответствовало ресурсу до первой переборки. Сумма отказов дизелей составила  $m = 49$ .

Для проведения расчета отказы дизелей систематизируются по их виду и наработке согласно табл. 6. Шаг интервала наработки  $h$  определяется в соответствии с (4.1) настоящего стандарта, получим  $h = 0,35$  тыс. ч. В графе 13 указывается количество отказов каждого наименования.

В строке 15 в графах 3-12 указывается суммарное количество отказов  $m_j$  в каждом интервале наработки, а в графе 13 - сумма отказов всей совокупности дизелей.

В строке 16 проставляется количество дизелей  $N_j$ , которые находились под наблюдением в каждом интервале наработки. В случае переменной выборки каждый интервал должен содержать  $N_j \geq 5$  дизелей, при  $N_j \leq 5$  рекомендуется увеличить шаг интервала.

В строке 17 подсчитывается среднее число отказов на единицу наработки  $\omega_j$  для каждого интервала наработки по формуле приведенной формуле, при этом в качестве наработки  $t_i$ , принимается наработка, равная шагу интервала (0,35 тыс.ч).

Среднее число отказов на единицу наработки  $\varpi$  за весь период наблюдений подсчитывается также по формуле и вносится в строку 17 на уровне графы 13. Получаем  $\omega = 0,57$  отказа на I тыс. ч наработки. Верхняя доверительная граница  $\omega_B$  для полученного значения  $\varpi$  определяется по формуле (5) с использованием табл. 1. Для односторонней доверительной вероятности  $\beta = 0,80$  и числа отказов 49 коэффициент  $r_\beta = 0,88$ . Производим вычисления

$$\omega_B = \frac{\varpi}{r_\beta} = \frac{0,57}{0,88} = 0,65 \frac{\text{отказ}}{\text{тыс.ч}} .$$

Определим точность вычисления  $\varpi$ , для чего подсчитаем относительную ошибку  $\delta$  по формуле

$$\delta = \frac{0,65 - 0,57}{0,57} = 0,14 .$$

Точность вычисления находится в допустимых пределах.

С доверительной вероятностью  $\beta = 0,80$  можно утверждать, что истинное численное значение среднего числа отказов на единицу

наработки для дизелей данной модификации при их эксплуатации в таких же условиях не превысит 0,65 отказа на I тыс. ч наработки.

Из ранее проведенного исследования безотказности дизелей этой же модификации, но более ранних годов выпуска, известно, что среднее число отказов на единицу наработки совокупности из 17 дизелей составило 0,69 отказа на 1 тыс. ч (был зарегистрирован 41 отказ). Определим по формуле значимость разности

$$\bar{\omega}_2 - \bar{\omega}_1 = abs(0,57 - 0,69) = 0,12 ,$$

$$z = \frac{0,12 \cdot 0,87}{0,69 \cdot (1 - 0,87)} = 1,16 .$$

Поскольку полученное значение  $z > 1$ , то с доверительной вероятностью  $\beta = 0,80$  принимаем, что полученная разность является значимой, что ежегодно проводимые мероприятия по совершенствованию конструкции, технологии и качества изготовления привели к повышению безотказности дизелей.

Наработка на отказ определяется по формуле

$$\bar{T}_{отк} = \frac{1}{0,57} = 1,75 .$$

Нижняя доверительная граница наработки на отказ определится по формуле

$$T_{отк.н} = 1,75 \cdot 0,88 = 1,54 \text{ тыс.ч} .$$

Относительная ошибка вычисления  $\bar{T}_{отк}$  равна

$$\delta = \frac{1,75 - 1,54}{1,75} = 0,12 .$$

Полученная точность является удовлетворительной.

Вероятность безотказной работы за ресурс непрерывной работы  $R_n = 0,3$  тыс. ч определим по формуле

$$\bar{P}(0,3) = e^{-0,57 \cdot 0,3} = 0,84 .$$

Нижняя доверительная граница вероятности безотказной работы определяется по формуле

$$P_n(0,3) = e^{-0,65 \cdot 0,3} = 0,82 .$$

Относительная ошибка вычисления  $\bar{P}(0,3)$  равна

$$\delta = \frac{0,84 - 0,82}{0,84} = 0,02 .$$

Коэффициент отказа дизеля по вине детали (сборочной единицы) определяется по соответствующей формуле. Результаты вычислений заносим в графу 13 табл. 6 в строки, соответствующие отказавшим деталям.

Введем условные обозначения отказов различных групп сложности согласно ОСТ 24.060.04-79:

Л - отказ, устранимый регулировкой или техническим обслуживанием; Б - отказ, устранимый текущим ремонтом (переборкой); В - отказ, устранимый капитальным ремонтом; Г - неустраимый отказ.

В графу 14 табл. 6 внесем условные обозначения группы сложности анализируемых отказов. Коэффициенты отказа различных групп сложности составляют: неустраимые отказы-отсутствуют; -отказы, устранимые капитальным ремонтом

$K_{отк.В} = 0,04$ ; -отказы, устранимые переборкой  $K_{отк.Б} = 0,31$ ;

- отказы, устранимые регулировкой или соответствующим техническим обслуживанием  $K_{отк.А} = 0,65$ .





## Лабораторная работа №4

Изучение устройства и работы измерительного комплекса для выравнивания мощности по цилиндрам.

Анализ существующего отечественного и зарубежного арсенала средств безразборной диагностики (США, Великобритания, Франция, ФРГ, Япония) позволил сделать выбор основных диагностических параметров. Этими параметрами являются максимальное давление в конце сгорания по всем цилиндрам и углы поворота коленчатого вала, при которых они достигаются. Для проведения диагностирования по выбранным параметрам необходимо обеспечить проверку и установку углов начала впрыска топлива по цилиндрам.

Регулировочные характеристики дизелей по углу опережения впрыска показывают, что при изменении угла опережения впрыска на один градус максимальное давление сгорания ( $P_z$ ) изменяется примерно на 0,15 МПа, а угол, соответствующий максимальному давлению сгорания ( $\varphi_{Pz}$ ), – на  $0,5^\circ$  поворота коленчатого вала. При этом характер изменения параметров противоположный: при увеличении, например, угла опережения подачи топлива  $P_z$  возрастает, а  $\varphi_{Pz}$  уменьшается. Учитывая, что увеличение цикловой подачи в дизеле ведет к увеличению  $P_z$  и  $\varphi_{Pz}$ , при диагностировании необходимо выявить их соответствующие доли влияния, а также за счет регулировок добиться оптимума. Например, исходный вариант: дизель отрегулирован,  $P_z$  и  $\varphi_{Pz}$  соответствуют значениям ТУ на поставку изделия и одинаковы по всем цилиндрам в пределах поля допуска. При нарушении регулировки цикловой подачи произойдет изменение  $P_z$  и  $\varphi_{Pz}$  в определенном цилиндре или цилиндрах дизеля в направлении изменения цикловой подачи. Если изменить угол опережения впрыска топлива в каком-либо цилиндре, не изменяя подачи, то величины  $P_z$  и  $\varphi_{Pz}$  тоже изменятся, но по другой зависимости, чем при изменении цикловой подачи.

Таким образом, параметры  $P_z$  и  $\varphi_{Pz}$  позволяют не только выявить наличие нарушений в регулировках дизеля, но и обеспечивают возможность определения причин их возникновения и проведения оптимальной настройки дизеля. Для этой цели необходимы устройства, позволяющие оперативно получать точную информацию о величинах максимальных давлений в каждом из цилиндров дизеля и соответствующих им величинах углов поворота коленчатого вала относительно верхней мертвой точки (ВМТ).

Проведенный анализ существующих стендов, устройств и способов по материалам патентного поиска подтвердил, что имеют место разнообразные пути реализации параметра максимального давления сгорания в цилиндре дизеля для применения его в целях безразборной диагностики. При этом отсутствуют сведения об использовании комплекса параметров: максимального давления сгорания в цилиндре и угла поворота коленчатого вала, соответствующего ему относительно ВМТ.

Недостатками же практически всех проанализированных устройств, приборов и способов следует считать: 1 – недостаточно высокую информативность диагностических параметров; 2 – трудоемкость и длительность выполнения экспресс-анализа и, следовательно, затруднения с выполнением настроечно-регулирующих работ; 3 – пониженную точность вследствие обработки и усреднения многоцикловых измерений за длительный интервал времени, а известно, что при этом невозможно сохранение заданного режима работы; 4 – неприспособленность приборов в качестве диагностических средств.

Снижение мощности дизелем в процессе эксплуатации может быть вызвано различными причинами, в числе основных – отклонение регулировок системы топливоподачи от нормальных установочных значений. Поэтому вполне закономерно, что нарушение настройки дизеля приводит к ухудшению топливной экономичности и повышенному износу деталей цилиндропоршневой группы и других сопрягающихся деталей. Для выявления отклонений в техническом состоянии дизеля на более ранней стадии во время эксплуатации известны различные методы, анализ которых приведен выше.

Как показал анализ методов и результатов исследований, выполненных в данной области, только непосредственное

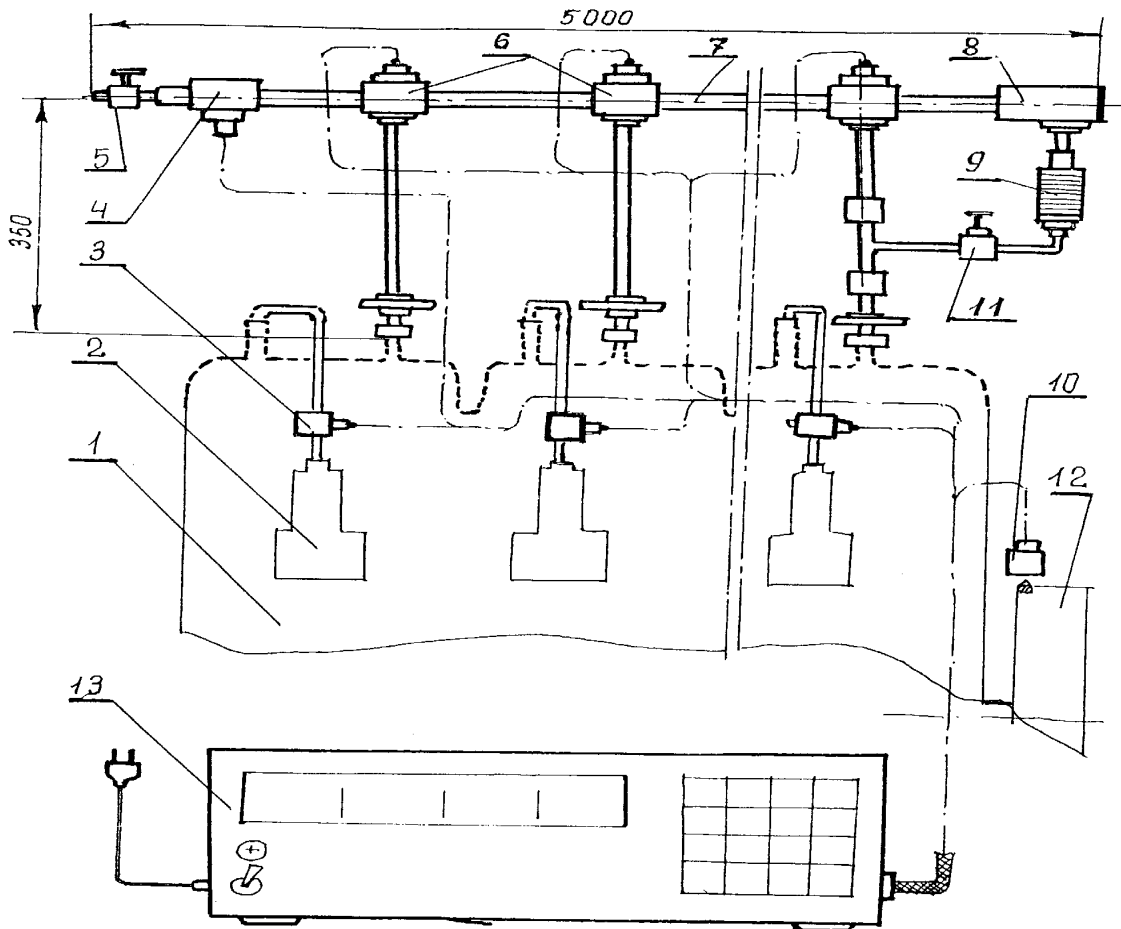
измерение мощности или давлений по цилиндрам при наличии сведений о дополнительных параметрах, характеризующих работу дизеля, позволяет достоверно оценить текущее техническое состояние и обеспечить качественную его настройку. Однако описанные в литературных источниках методы для практического применения в реальных условиях эксплуатации очень неудобны и требуют высокой квалификации обслуживающего персонала.

Предложенная кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» ТОГУ конструкция устройства для диагностирования дизелей ставит своей задачей объединить возможно большее количество положительных свойств перечисленных в проведенном выше обзоре средств диагностирования, с попыткой исключения как можно большего числа имеющихся в них недостатков.

Данное устройство предназначено для безразборного диагностирования и наладки дизелей во время их использования в условиях рядовой эксплуатации с целью поддержания нормативного технического состояния и улучшения эксплуатационной топливной экономичности. Область применения рассматриваемой модификации устройства для диагностирования дизелей включает в себя все установки с числом цилиндров не более 8, которые имеют при эксплуатации постоянный скоростной режим или возможность поддерживать его на время измерения (3–5 мин) в заданном интервале отклонений (например, на стендах заводов изготовителей дизелей при их настройке и регулировке, для главных и вспомогательных двигателей). Устройство диагностирования и наладки дизелей состоит из следующих законченных блоков и узлов: измерительного блока, предназначенного для сбора, обработки и отображения информации в цифровом виде на табло; датчика максимального давления сгорания в цилиндрах дизеля; датчиков угла опережения впрыскивания топлива; преобразователя давления сжатого воздуха в измерительной магистрали; комплекта соединительных шнуров и дизеле представлена на рис. 6.1, а функциональная схема – на рис. 6.2.

Электронный измерительный блок 13 (рис. 6.1) соединительными шнурами соединен с датчиками 3 (угла опережения действительного начала впрыскивания топлива) и 6 типа ИМД-3 (разработка завода «Звезда», г. Санкт-Петербург) для измерения максимального давления сгорания в цилиндре.

Датчики 6 устанавливаются с помощью соединительных элементов, подобных штатным от максиметров, на индикаторные



краны цилиндров дизеля и объединяются эластичным трубопроводом высокого давления 7 (на давление порядка 25 МПа). Все датчики легкоъемные и переносятся от дизеля к дизелю при операциях обследования (диагностирования) вместе с электронным измерительным блоком одним оператором.

Рис. 6.1. Схема установки устройства для диагностирования на дизеле:

1 – диагностируемый дизель; 2 – автономный ТНВД; 3 – датчик угла опережения впрыскивания топлива; 4 – датчик давления воздуха; 5 – регулируемый жиклер; 6 – датчик максимального давления в цилиндре; 7 – трубопровод измерительной магистрали; 8 – аккумулятор давления воздуха; 9 – преобразователь давления; 10 – датчик угла поворота коленчатого вала; 11 – маховик; 12 – маховик; 13 – электронный блок

Диагностируемый дизель 1 (рис. 6. 2), работающий на генератор переменного тока 17, оснащен по всем цилиндрам датчиками 3 давления топлива в трубопроводе после ТВД 2 (ближе к форсунке). Все датчики 3 со стороны измерительной магистрали 7 находятся под воздействием сжатого воздуха, давление которого фиксируется датчиком давления 4 и сравнивается датчиками 6 с давлением в

цилиндрах дизеля. Датчик угла поворота коленчатого вала 10, расположенного вблизи маховика 16 дизеля, предназначен для отсчета угла от верхней мертвой точки относительно первого цилиндра.

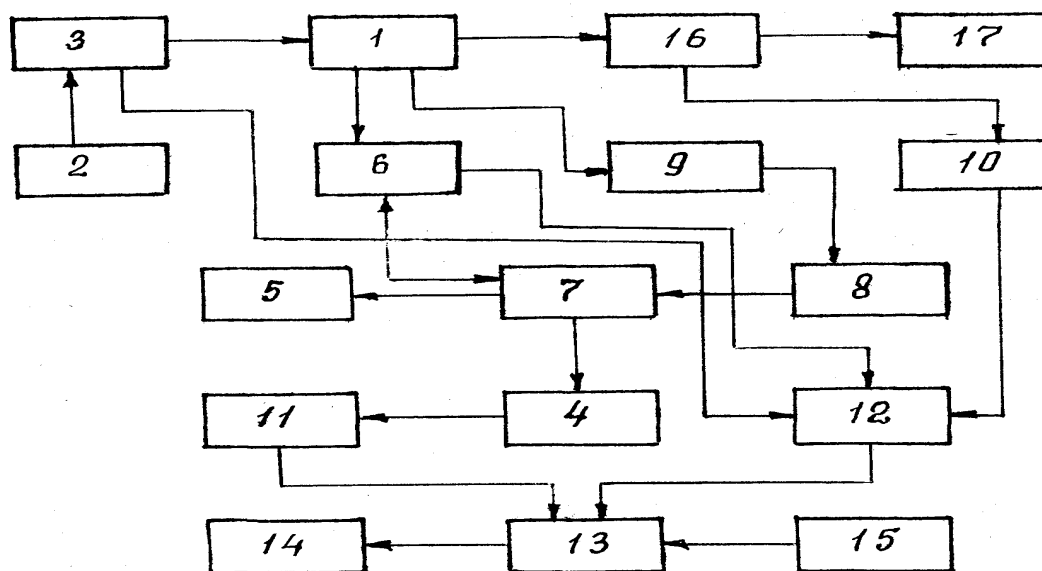


Рис. 6.2. Функциональная схема устройства для диагностирования дизелей:

1 – диагностируемый дизель; 2 – ТНВД; 3 – датчик опережения момента начала впрыскивания топлива; 4 – датчик максимального давления в цилиндре дизеля; 5 – жиклер регулируемого сечения; 6 – датчики давления газов по цилиндрам; 7 – магистраль сжатого воздуха; 8 – аккумулятор давления сжатого воздуха; 9 – преобразователь давления; 10 – датчик угла поворота коленчатого вала дизеля; 11 – модуль аналогово-цифрового преобразователя; 12 – модуль формирователь импульсных сигналов; 13 – модуль процессора; 14 – модуль индикации; 15 – модуль стабилизированного источника питания; 16 – маховик дизеля; 17 – генератор переменного тока

Измерение максимального давления сгорания в цилиндрах дизеля производится по принципу сравнения его с тем известным, которое создается в измерительной магистрали путем медленного снижения его величины в пределах, ожидаемых для каждого диагностируемого дизеля. Первоначальное давление создается преобразователем давления 9 и сглаживается от пульсаций аккумулятором давления 8. Интенсивность изменения давления в магистрали 7 при измерениях подбирается экспериментальным путем с помощью жиклера 5 регулируемого сечения.

Электронный измерительный комплекс (рис. 6.2) состоит из пяти основных модулей: модуля аналогово-цифрового преобразователя 11, модуля формирования импульсных сигналов 12, модуля процессора 13, модуля индикации измеряемых величин 14 и модуля стабилизированного источника питания 15.

Устройство работает в следующей последовательности (см. рис. 6.1): после подсоединения к дизелю датчиков 3, 6, 10 и подключения измерительного блока к сети 220 В с пульта управления стенда подается команда “измерение”, по которой подключается преобразователь давления 9, создающий в аккумуляторе давления 8 и магистрали 7 давление, превышающее максимальное давление сгорания в цилиндрах дизеля на 15–20 %.

При достижении этого давления датчик 4 через измерительный тракт дает информацию о достижении давлением установленного уровня. Процессор по программе управляет дальнейшим прохождением технологических операций диагностирования, при этом отключается преобразователь давления 9, открывается клапан жиклера 5 и производится опрос состояний всех датчиков по цилиндрам. Электронный измерительный блок накапливает информацию по заданной величине количества рабочих циклов, принимая её с датчиков угла опережения впрыскивания топлива, максимального давления сгорания и угла поворота коленчатого вала при достижении максимального давления сгорания по каждому из цилиндров.

Вся информация обрабатывается процессором по программе и хранится в оперативной памяти. На табло по вызову из памяти при нажатии соответствующей клавиши пульта индицируются следующие значения: номер цилиндра, максимальное давление сгорания, угол поворота коленчатого вала, при котором оно достигается, и угол опережения впрыскивания топлива. При других сочетаниях нажатия клавиш можно вызвать для индикации на табло соответствующие отклонения перечисленных выше параметров по каждому из анализируемых цилиндров относительно «реперного», который выбран программой измерительного блока для «уставки» при выполнении операций настройки дизеля.

При регулировках дизеля с помощью данного устройства устраняется не только разница максимальных значений давлений сгорания по цилиндрам, но и величина угла поворота коленчатого вала, при котором оно достигается, так как мощность по цилиндрам находится во взаимосвязи с этими двумя параметрами.

Кроме выравнивания мощности по цилиндрам с помощью описываемого устройства, имеется возможность диагностировать техническое состояние цилиндро-поршневой группы по давлению конца сжатия. При этом достаточно отключить цикловую подачу

топлива в диагностируемом цилиндре и на табло будет представлена необходимая для анализа информация.

Данное устройство для выравнивания мощности по цилиндрам дизелей является полностью автоматизированным. Поэтому процесс диагностирования и настройки дизеля сводится к установке необходимых цикловых подач и углов опережения впрыскивания топлива по каждому из цилиндров.

В начале процесса диагностирования устройство необходимо подключить к дизелю по следующим измерительным каналам: одному преобразователю давления; шести датчикам максимального давления сгорания в цилиндрах дизеля; одному датчику угла поворота коленчатого вала дизеля; шести датчикам угла опережения впрыскивания топлива в цилиндры дизеля; одному каналу питания устройства электроэнергией.

После подключения всех перечисленных выше датчиков к дизелю, самого устройства к сети переменного тока  $220 \text{ В} \pm 10 \%$  с частотой  $50 \pm 1 \text{ Гц}$ , включения тумблера «Сеть» на пульте и нажатия кнопки «Пуск» автоматически будет производиться наполнение измерительной магистрали сжатым воздухом. При достижении давления в магистрали выше 1,15...1,20 величины максимального давления сгорания в цилиндрах диагностируемого дизеля система автоматизации устройства переходит в режим самотестирования по заложенной в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ) программе для проверки работоспособности каналов измерения.

По прохождении теста включается в работу программа «Измерение», по которой открывается электромагнитный клапан жиклера заданного темпа снижения давления в магистрали, подключенной постоянно (конструктивно) к датчикам давления в цилиндрах дизеля (компараторного типа). В это время тракт измерения давления в магистрали сжатого воздуха (аналоговый сигнал) находится в режиме ожидания управляющего сигнала, который появляется при достижении величиной максимального давления сгорания в цилиндре значения, равного давлению в измерительной магистрали. При достижении уровнем давления в магистрали соответствующих величин внутри каждого из цилиндров, а значит, совпадении их значений – производится считывание и запоминание информации с аналогового датчика давлений в оперативную память устройства. Кроме того,



одновременно с запоминанием величин  $P_z$  по цилиндрам, производится отсчет и запоминание величин углов поворота коленчатого вала относительно ВМТ, соответствующих каждому измерению  $P_z$ . Для повышения точности измерений в память заносятся показания 10 последовательных рабочих циклов в каждом цилиндре и автоматическое их осреднение.

По окончании команды «Измерение» должны быть получены величины средних (за 10 рабочих циклов) значений максимального давления в цилиндрах дизеля, соответствующих им углов поворота коленчатого вала, при которых они достигаются, и углов опережения впрыскивания топлива по каждому цилиндру. Также автоматически происходит анализ разброса давлений, соответствующих им углов и определяется рекомендуемый уровень давления (номер цилиндра, ближайший по величине  $P_z$  к среднему значению), по которому необходимо выравнять нагрузку по цилиндрам или эффективную мощность.

Операция выравнивания давления по цилиндрам осуществляется путем изменения величин цикловой подачи и угла опережения впрыскивания топлива с помощью регулировочных элементов, предусмотренных в топливной аппаратуре дизеля. Величина  $P_z$  контролируется с помощью описываемого устройства путем вызова из ОЗУ (оперативного запоминающего устройства) для регулируемого цилиндра значения его отклонения от рекомендуемого уровня для конкретного дизеля.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1	
Задача обработки статистических данных.....	1
Лабораторная работа №2	
Определение характеристики распределения по результатам опыта.....	2
Лабораторная работа №3	
1.1. Общие положения по расчету показателей надежности.....	7
1.2. Методика расчета показателей безотказности дизеля.....	8
1.3. Примеры расчета показателей надежности.....	12
Лабораторная работа №4	
Изучение устройства и работы измерительного комплекса для выравнивания мощности по цилиндрам.....	17