

РОСЖЕЛДОР

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВПО РГУПС)**

В.Ф. Криворудченко, О.Л. Игнатьев

**РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Учебно-методическое пособие
к расчетно-графической работе

Ростов-на-Дону

2015

Рецензент – доктор технических наук, профессор Н.Г. Дюргеров

Криворудченко, В.Ф.

Расчет показателей надежности подвижного состава: учебно-методическое пособие к расчетно-графической работе / В.Ф. Криворудченко, О.Л. Игнатъев; ФГБОУ ВПО РГУПС. – Ростов н/Д, 2015. – 40 с. – Библиогр.: с. 38.

Даны теоретические, методические и практические аспекты применения статистических методов расчета показателей надежности и технической диагностики в технике и непосредственно на подвижном составе.

Предназначено для студентов 4-го курса всех форм обучения по специальностям: 190300.65 «Подвижной состав железных дорог», специализация № 1 «Локомотивы», 23.05.03 – «Подвижной состав железных дорог», специализация «Электрический транспорт железных дорог», и 23.05.03 – «Подвижной состав железных дорог», специализация «Вагоны», – изучающих дисциплину «Техническая диагностика подвижного состава».

Одобрено к изданию кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство».

1 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О НАДЕЖНОСТИ

Надежность технического объекта – в общем случае есть свойство, включающее безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость (ГОСТ 27.002-83, ОСТ 24.040.03.-79).

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

Надежность технической системы невозможно установить без статистической информации, к которой предъявляются следующие требования:

- своевременность;
- регулярность получения;
- достоверность;
- полнота сведений;
- единообразии форм технической информации.

Первичная информационная документация должна содержать:

- номера вагонов, марку и номер узла, название завода-изготовителя, дату изготовления, депо приписки;
- виды ремонта, дату ремонта;
- продолжительность работы после ремонта или ввода в эксплуатацию, дату обнаружения отказа или неисправности, где и кем она была устранена;
- наименование основных узлов, подлежащих исследованию;
- сведения о причинах повреждений (недостаток конструкции, некачественный ремонт, нарушение правил эксплуатации);
- предложения по совершенствованию конструкции узлов и агрегатов, технологии их ремонта.

Все виды неисправностей сводятся в ведомость учета отказов и неисправностей. По данным ведомости строится диаграмма, характеризующая распределение отказов по узлам в процентном отношении. На основании диаграммы устанавливается наиболее часто встречающиеся отказы, по которым ведется дальнейшая обработка статистических данных.

Особое внимание обращается на объем выборки объектов, подлежащих исследованию. Малый объем выборки делает ее практически бесполезной, а большой – экономически нецелесообразной.

Последовательность расчета объема выборки следующая:

1 Определяется среднее значение размера выборки

$$\bar{x} = \frac{\sum_{j=1}^k x_j \cdot m_j}{\sum_{j=1}^k m_j}, \quad (1.1)$$

где k – число разрядов (интервалов);

x_i – среднеарифметическое значение параметра в разряде;

m_j – число значений параметра в разряде.

Определяется рассеяние исследуемого параметра σ

$$\bar{\sigma} = \bar{x} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (x_j - \bar{x})^2 m_j}{m}}, \quad (1.2)$$

где m – общее число наблюдений параметра.

На основании \bar{x} и $\bar{\sigma}$ определяется мера изменчивости исследуемого параметра ν

$$\nu = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{x}} \cdot 100 \%. \quad (1.3)$$

Если допустить в оценке параметра возможную ошибку $\xi = (1-5) \%$, то отношение $f = \frac{\nu}{\xi}$ будет являться мерой достоверной оценки исследуемого параметра.

Зная f , по номограмме определяется величина m . Непременное условие $m \geq N_{\min}$.

Если ожидаемое N_{\min} больше 130, то обращаются к номограмме А.К. Митропольского [1] (рис. 1.1).

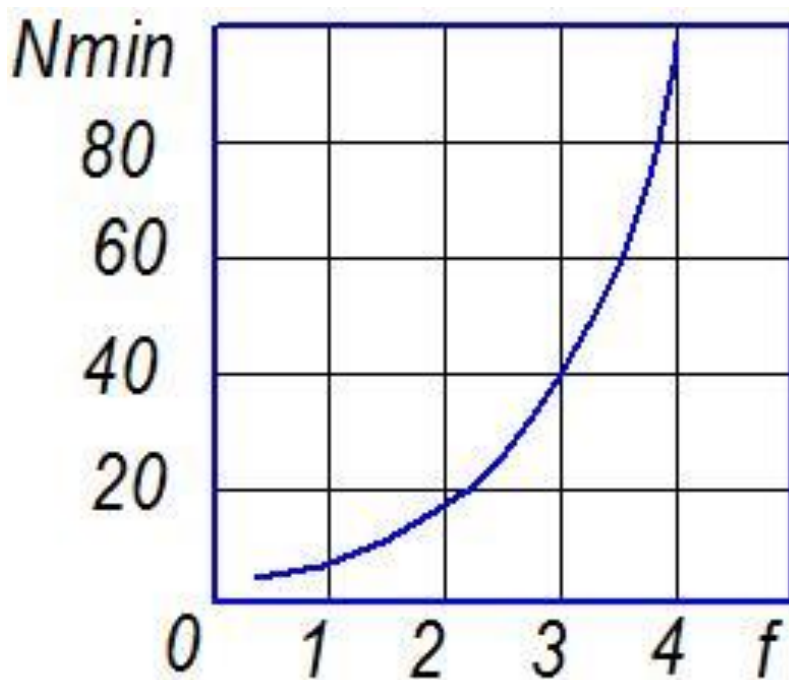


Рисунок 1.1 – Номограмма А.К. Митропольского

2 МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

2.1 Основные понятия, характеризующие надежность подвижного состава [6, 6, 7]

В процессе эксплуатации каждый узел подвижного состава (ПС) может находиться в одном из двух состояний: исправном и неисправном.

Исправное состояние – состояние, при котором объект соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией.

Неисправное состояние – такое состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из этих требований.

Неисправность с точки зрения последствий, которые она вызывает, может быть отнесена к дефекту или отказу.

Под **дефектом** понимается неисправность объекта, которая не нарушает его работоспособности и позволяет продолжать нормальную эксплуатацию подвижного состава и ремонт его по плану, а также это любое несоответствие требованиям НТД.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. Отказ ПС нарушает нормальный порядок его эксплуатации и ремонта по плану.

2.1.1 Количественные показатели надежности

Существуют вероятностное и статистическое определение показателей (ГОСТ 27.410-87).

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

Вероятность безотказной работы элементов в интервале времени от 0 до t_0 определяется по формуле

$$P(t_0) = \frac{N(t_0)}{N(0)} = 1 - \frac{m(t_0)}{N(0)}, \quad (2.1)$$

где $N(t_0)$ – количество исправных элементов в момент времени t_0 ;

$N(0)$ – количество исправных элементов в начальный момент времени;

$m(t_0)$ – количество отказавших элементов к моменту времени t_0 ;

$P(t_0)$ – отношение числа элементов, безотказно проработавших до момента времени t_0 , к числу элементов, исправных в начальный момент времени.

Вероятность отказа элемента в интервале времени от 0 до t_0

$$Q(t_0) = \frac{m(t_0)}{N(0)}, \quad (2.2)$$

где $Q(t_0)$ – вероятность того, что элемент откажет в течение интервала времени t_0 , начав работать в момент времени $t_0 = 0$.

Интенсивность отказов в общем случае определяется по формуле

$$\lambda(t_0) = \frac{m(t_0 + \Delta t) - m(t_0)}{[N(0) - m(t_0)]\Delta t} = \frac{\Delta m(t_0, \Delta t)}{N(t_0)\Delta t}, \quad (2.3)$$

где $\lambda(t_0)$ – отношение частоты отказов к вероятности безотказной работы элемента.

Среднее время безотказной работы в общем случае определяется по формуле

$$T_0 = \frac{1}{N(0)} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{N(0)}) = \frac{1}{N(0)} \sum_{i=1}^{N(0)} Q_i, \quad (2.4)$$

где T_0 – среднее арифметическое реализаций случайной величины продолжительности безотказной работы элемента.

2.1.2 Ремонтируемые элементы подвижного состава

Кроме вышеуказанных показателей применяют также ряд других.

1 Среднее число отказов ПС до наработки t

$$m_{cp}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t)}{N}. \quad (2.5)$$

В пределе получаем характеристику потока отказов

$$m(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t)}{N}. \quad (2.6)$$

Параметр потока отказов ПС

$$\omega(t) = \frac{dm(t)}{dt} \quad (2.7)$$

или

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N (t+\Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N \cdot \Delta t}. \quad (2.8)$$

Наработка на отказ элементов подвижного состава

$$T_{cp} = \frac{t_2 - t_1}{m(t_2) - m_{cp}(t_1)}, \quad (2.9)$$

или

$$T_{cp} = \frac{t_2 - t_1}{m_{cp}(t_2) - m_{cp}(t_1)}. \quad (2.10)$$

Вероятность безотказной работы элементов локомотива или вагона

$$P(t_1, t_2) = \exp[m(t_1) - m(t_2)]. \quad (2.11)$$

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Долговечность характеризуется следующими показателями:

а) физический срок службы – календарная продолжительность эксплуатации подвижного состава до разрушения или другого предельного состояния, после которого восстановление путем ремонта и дальнейшая эксплуатация становятся невозможными;

б) технический ресурс T_r – суммарная наработка подвижного состава за физический срок службы;

в) гарантийный срок службы – после постройки или капитального ремонта T_r – срок службы подвижного состава, в течение которого строительный или

ремонтный завод гарантирует исправность ПС и несет материальную ответственность за возникшие неисправности при условии соблюдения технических условий эксплуатации;

г) межремонтные сроки – время эксплуатации или пробега между плановыми ремонтами ПС;

д) экономически целесообразный срок использования ПС.

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

К характеристикам ремонтнопригодности относятся следующие.

Среднее время восстановления

$$T_6 = \frac{1}{m} (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{6i}, \quad (2.12)$$

где t_{6i} – случайное время восстановления после i -го отказа;

m – общее число восстановлений за интервал наблюдения;

T_6 – среднее арифметическое реализаций времени простоя на ремонте.

Коэффициент готовности

$$K_2 = \frac{T_o}{T_{6m} + T_o}, \quad (2.13)$$

где T_o – наработка на отказ;

T_{6m} – время простоя в ремонте (техническое).

Коэффициент использования

$$K_u = \frac{T_3}{T_3 + T_{рем}}, \quad (2.14)$$

где T_3 – время нахождения парка ПС в эксплуатации за год;

$T_{рем}$ – время простоев на всех видах ремонта.

Коэффициент простоя определяется по формуле

$$K_n = \frac{T_{рем}}{T_3 + T_{рем}}. \quad (2.15)$$

Коэффициент затрат на техническое обслуживание и ремонт

$$K_c = \frac{\sum C}{C_o}, \quad (2.16)$$

где $\sum C$ – сумма затрат на все виды осмотров и ремонтов подвижного состава за год, руб.;

C_o – первоначальная стоимость вагона (оптовая цена).

Ремонтёмкость определяется по формуле

$$P = \frac{\sum C}{\sum Q \cdot l}, \quad (2.17)$$

где $\sum Q \cdot l$ – объем работ, выполненный вагоном за год, ткм брутто.

3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ И ИХ АНАЛИЗ

Данные об отказах и дефектах ПС в эксплуатации и на плановых ремонтах сводятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Данные об отказах и дефектах ПС

№ п/п	№ вагона (узла детали)	Дата отказа	Характер отказа (причина смены или ремонта)	Пробег от начала эксплуатации до отказа	Простой на ремонте, час	Заграты на ремонт, руб.	Последствия отказа	Убытки из-за отказа, руб.
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Длительность работы узлов располагается (графа 5) в порядке возрастания в виде вариационного ряда (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Длительность работы узлов

Номер отказа	1	2	3	...	<i>i</i>	...	<i>m</i>
Время до отказа	Q_1	Q_2	Q_3	...	Q_i	...	Q_m

Производится группировка длительности работы до отказа по интервалам. Величина интервала определяется из выражения

$$\Delta t = \frac{Q_m - Q_1}{1 + 2,31 \lg m} \quad (3.1)$$

В каждом интервале подсчитывается число реализаций длительности работы до отказа Δm_j и определяется статистическая частота

$$f_j = \frac{\Delta m_j}{m \Delta t} \quad (3.2)$$

Расчет показателей надежности $f(t_0)$, $Q(t_0)$, $P(t_0)$ и $\lambda(t_0)$ ведется в табличной форме (табл. 3.3).

На основании табл. 3.3 строятся статистические (опытные) функции показателей безотказности по продолжительности эксплуатации. Выявляются узлы, ограничивающие межремонтные периоды.

Пример. Определить показатели надежности окатышевозов Новолипецкого металлургического завода за 1 год их эксплуатации. Общее количество окатышевозов – 126.

Таблица 3.3 – Расчет показателей надежности

Номер интервала	1	2	3	...	j	...	k
Число отказов в интервале Δm_i	Δm_1	Δm_2	Δm_3	...	Δm_j	...	Δm_k
Частота отказов в интервале $f_i = \frac{\Delta m_i}{m \Delta t}$	f_1	f_2	f_3	...	f_j	...	f_k
Вероятность отказов $Q_i = \sum_{i=1}^k f_i \cdot \Delta t$	Q_1	Q_2	Q_3	...	Q_j	...	Q_k
Вероятность безотказной работы $P_i = 1 - Q_i$	P_1	P_2	P_3	...	P_j	...	P_k
Интенсивность отказов $\lambda_i = \frac{P_i}{P_i - 1}$	λ_1	λ_2	λ_3	...	λ_j	...	λ_k

Порядок расчета

Длительность работы вагона до отказа группируем по интервалам. Для удобства величину интервала принимаем равной одному месяцу.

Распределение показателей безотказности окатышевозов в первый год эксплуатации представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Распределение показателей безотказности

Показатели	Месяцы											
	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6
n_i	2		6		6		16		12		10	
n	126		126		126		126		126		126	
f_i	0,016		0,048		0,048		0,127		0,095		0,079	
Q_i	0,016		0,064		0,112		0,239		0,334		0,413	
P_i	0,984		0,936		0,888		0,761		0,666		0,587	
Показатели	Месяцы											
	6	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	12
n_i	7		12		11		10		1		3	
n	126		126		126		126		126		126	
f_i	0,056		0,095		0,087		0,079		0,008		0,024	
Q_i	0,469		0,564		0,651		0,730		0,738		0,762	
P_i	0,531		0,436		0,349		0,270		0,262		0,238	

В каждом интервале подсчитывается число реализации длительности работы до отказа и определяется статистическая частота

$$f_i = \frac{n_i}{n \cdot \Delta t}, \quad (3.3)$$

где n_i – число реализаций длительности работы до отказа в i -м интервале (число отказов в интервале);

n – объем выборки (количество исследуемых вагонов);

Δt – величина интервала.

Так, $f_1 = \frac{2}{126 \cdot 1} = 0.016$; $f_2 = \frac{6}{126 \cdot 1} = 0.048$ и т. д.

Вероятность отказа в i -м интервале

$$Q_i = \sum_{i=1}^i f_i \cdot \Delta t. \quad (3.4)$$

Так, для 1-го интервала

$$Q_1 = 0,016 \cdot 1 = 0,016;$$

$$Q_2 = (0,016 + 0,048) \cdot 1 = 0,064;$$

$$Q_3 = (0,016 + 0,048 + 0,048) \cdot 1 = 0,112 \text{ и т. д.}$$

Вероятность безотказной работы для каждого интервала

$$P_i = 1 - Q_i. \quad (3.5)$$

Полученные данные говорят о том, что за год работы (перед плановым ремонтом) вероятность безотказной работы окатышевозов изменилась до 0,238, т. е. только 24 % вагонов могут проработать в течение года без отцепки в текущий ремонт, остальные вагоны откажут.

Среднее количество отказов (r_{cp}) между плановыми ремонтами

$$r_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}, \quad (3.6)$$

где r_i – количество отказов в i -й межремонтный период;

n – количество межремонтных периодов.

Среднее количество неплановых ремонтов (m_{cp})

$$m_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}, \quad (3.7)$$

где m_i – количество неплановых ремонтов в i -й межремонтный период.

Наработка на отказ (T_o) определяется по формуле

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n r_i} = \frac{T_{cp}}{r_{cp}}, \quad (3.8)$$

где T_i – суммарная наработка i -го межремонтного периода (сумма наработок между отказами);

T_{cp} – средняя наработка между плановыми ремонтами.

Параметр потока отказов $\omega(t)$ – среднее количество отказов в интервале времени или наработки.

При экспоненциальном распределении времени между отказами поток отказов после периода приработки колеблется около своего среднего значения, образуя постоянную величину.

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{\sum_{i=1}^n T_i} = \frac{r_{cp}}{T_{cp}} = \frac{1}{T_o}. \quad (3.9)$$

Показатели надежности, как и ω , определяются в межремонтный период – между плановыми ремонтами.

Показатели долговечности. Средний срок службы – календарная продолжительность эксплуатации подвижного состава, (среднее арифметическое значение длительности работы ПС в месяцах).

Средний срок службы до первого деповского ремонта

$$T_{\partial} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\partial i}}{N}, \quad (3.10)$$

где $T_{\partial i}$ – длительность работы i -го вагона от постройки до первого деповского ремонта в месяцах.

Средний срок службы до 1 капитального ремонта

$$T_3 = \frac{\sum_{i=1}^N T_{3i}}{N}. \quad (3.11)$$

Средний срок службы до модернизации

$$T_M = \frac{\sum_{i=1}^N T_{Mi}}{N}, \quad (3.12)$$

где T_{Mi} – длительность работы i -го вагона от постройки до модернизации в месяцах.

Средний срок службы до списания определяется по формуле

$$T_c = \frac{\sum_{i=1}^N T_{ci}}{N}, \quad (3.13)$$

где T_{ci} – длительность работы i -го вагона от постройки до предельного состояния в месяцах.

Средний срок службы между плановыми ремонтами (межремонтный период) определяется по формуле

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \quad (3.14)$$

где T_i – длительность работы i -го вагона между плановыми ремонтами;
 n – количество межремонтных периодов.

Средний срок службы между капитальными ремонтами определяется по формуле

$$T_{3i}^{\cdot} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{3i}}{n}, \quad (3.15)$$

где T_{3i}^{\cdot} – длительность работы между капитальными ремонтами.

Средний ресурс между плановыми ремонтами (произведение среднего срока службы между плановыми ремонтами в месяц на цикличность работы)

$$T_p = T_{cp} \cdot J, \quad (3.16)$$

где J – цикличность работы (интенсивность), оборот/мес.

Показатели ремонтпригодности. Среднее время восстановления (T_B) – среднее время вынужденного простоя на текущем отцепочном ремонте, вызванное отыскиванием и устранением отказа (только неплановые ремонты). Это время определяется по календарным годам

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^r \tau_i}{r}, \quad (3.17)$$

где τ_i – время восстановления вагона после отказа;
 r – количество отказов.

Комплексные показатели надежности. Коэффициент готовности (K_G) – вероятность того, что вагон окажется работоспособным в произвольный момент времени между плановыми ремонтами при условии, что вагон не простаивает после отказа, а сразу подается в ремонт.

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \quad (3.18)$$

где T_0 – наработка на отказ в период между плановыми ремонтами.

Коэффициент технологического использования ($K_{ТИ}$) – вероятность того, что вагон окажется работоспособным в произвольный момент времени заданного срока службы

$$K_{ТИ} = \frac{N \cdot T - \sum_{i=1}^{r_3} \tau_{3i} - \sum_{i=1}^{r_D} \tau_{Di} - \sum_{i=1}^r \tau_i}{N \cdot T}, \quad (3.19)$$

где T – заданная длительность эксплуатации (календ. год);

r_3 – количество капитальных ремонтов в период календарного года;

r_D – количество деповских ремонтов;

r – количество неплановых ремонтов;

$\tau_{3i}, \tau_{Di}, \tau_i$ – соответственно время простоя вагона на капитальном, деповском и неплановом ремонте.

Пример. Определить показатели безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

Расчет этих показателей представлен в таблице 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5 – Показатели надежности

№ п/п	Наименование показателей	Условное обозначение	Единица измерения	Межремонтный период			
				2003–2004		2004–2005	
				Годы эксплуатации			
				1	2	2	3
1	2	3	4	5		6	
1	Количество межремонтных периодов	n	—	109		73	
2	Суммарный срок службы между плановыми ремонтами	$\sum_{i=1}^n T_i$	мес.	1736		1067	

1	2	3	4	5	6
3	Средняя наработка (срок службы) между плановыми ремонтами одного вагона (T_{cp})	$\frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}$	$\frac{мес.}{оборот.}$	$\frac{15,9}{1431}$	$\frac{14,6}{1314}$
4	Суммарное количество отказов в межремонтный период	$\sum_{i=1}^n r_i$	—	217	175
5	Среднее количество отказов	r_{cp}	—	2,0	2,4
6	Суммарное количество неплановых ремонтов	$\sum_{i=1}^n m_i$	—	127	102
7	Среднее количество неплановых ремонтов одного вагона	m_{cp}	—	1,2	1,4

Таблица 3.6 – Распределение показателей ремонта окатышевозов на Новолипецком металлургическом заводе НМЗ

Виды ремонтов	Наименование параметров	Условное обозначение	Календарные годы эксплуатации		
			1973 г.	1974 г.	1975 г.
Заводской	Количество	$r_з$	—	38	27
	Общий простой (сутки)	$\sum_{i=1}^{r_з} \tau_{zi}$	—	104,5	119
	Средний простой (сутки)	$\tau_з$	—	2,8	4,4
Деповский	Количество	$r_д$	56	24	37
	Общий простой (сутки)	$\sum_{i=1}^{r_д} \tau_{di}$	101	48,5	75
	Средний простой (сутки)	$\tau_д$	1,8	2,0	2,0
Неплановый	Количество	r	104	161	168
	Общий простой (сутки)	$\sum_{i=1}^r \tau_i$	74	180,5	202
	Средний простой (сутки)	$T_е$	0,7	1,1	1,2

Пояснения к таблице 3.5 и 3.6.

Средняя наработка на отказ [п. 3 табл. 3.5]

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} = \frac{1736}{109} = 15,9 \text{ мес.}, \text{ и т. д.}$$

Среднее количество отказов одного вагона [п. 5 табл. 3.5]

$$r_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} = \frac{217}{109} = 2,0 \text{ и т. д.}$$

Среднее количество неплановых ремонтов [п. 7 табл. 3.5]

$$m_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} = \frac{127}{109} = 1,2.$$

Наработка на отказ в период между плановыми ремонтами 2003–2004 гг.

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n r_i} = \frac{T_{cp}}{r_{cp}} = \frac{15,9}{2,0} = \frac{1736}{217} = 8 \text{ мес.}$$

Или в оборотах вагона

$$T_o = 8 \cdot 90 = 720 \text{ оборотов,}$$

где 90 – число оборотов в месяц.

2004–2005 гг.

$$T_o = \frac{1067}{175} = 6,1 \text{ мес.}$$

Параметр потока отказов 2003–2004 гг.

$$\omega = \frac{r_{cp}}{T_{cp}} = \frac{2,0}{15,9} = 0,125, \text{ 1/мес.}$$

или

$$\omega = \frac{1,0}{720} = 1,39 \cdot 10^{-3}, \text{ 1/обор. ваг.}$$

2004–2005 гг.

$$\omega = \frac{2,4}{14,6} = 0,164, \text{ 1/мес.}$$

или

$$\omega = \frac{1,0}{6,1 \cdot 90} = \frac{1,0}{549} = 1,82 \cdot 10^{-3}, \text{ 1/обор. ваг.}$$

Показатели долговечности

Средний срок службы до первого деповского ремонта

$$T_{\partial} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{\partial i}}{N} = \frac{775 \text{ мес.}}{71} = 10,9 \text{ мес.}$$

Средний срок службы до первого капитального ремонта

$$T_3 = \frac{\sum_{i=1}^N T_{3i}}{N} = \frac{1636}{64} = 25,6 \approx 2,1 \text{ года.}$$

Средний срок службы между плановыми ремонтами

2003–2004 гг.

$$T_{cp} = \frac{1736}{109} = 15,9 \text{ мес.}$$

2004–2005 гг.

$$T_{cp} = \frac{1067}{73} = 14,6 \text{ мес.}$$

Средний ресурс между плановыми ремонтами

2003–2004 гг.

$$T_{p1} = 15,9 \cdot 90 = 1431 \text{ оборот вагона.}$$

$$T_{p2} = 14,6 \cdot 90 = 1314 \text{ оборот вагона.}$$

Показатели ремонтпригодности

Среднее время восстановления после отказа

2003 г.

$$T_g = \frac{\sum_{i=1}^r \tau_i}{r} = \frac{74}{104} = 0,7 \text{ сут.} \approx 0,023 \text{ мес.}$$

2004 г.

$$T_g = \frac{\sum_{i=1}^r \tau_i}{r} = \frac{180,5}{161} = 1,1 \text{ сут.} \approx 0,036 \text{ мес.}$$

Комплексные показатели надежности

2003–2004 гг.

$$K_z = \frac{T_g}{T_o + T_g} = \frac{8}{8 + 0,023} = 0,997;$$

$$K_z = \frac{T_g}{T_o + T_g} = \frac{6,097}{6,097 + 0,036} = 0,994.$$

Коэффициент технического использования

1973 г.

$$K_{mu} = \frac{126 \cdot 365 - 101 - 74}{126 \cdot 365} = 0,996.$$

2004 г.

$$K_{mu} = \frac{126 \cdot 365 - 104,5 - 48,5 - 180,5}{126 \cdot 365} = 0,993.$$

2005 г.

$$K_{mu} = \frac{126 \cdot 365 - 119 - 75 - 202}{126 \cdot 365} = 0,991.$$

В технической литературе при рассмотрении вопросов надежности и технической диагностики встречаются также следующие обозначения: общее количество изделий (узлов, деталей) – N ; число отказов деталей и узлов – n ; средняя наработка на отказ – \bar{t}_{cp} ; интенсивность отказов изделия – λ ; интенсивность отказа системы – λ_c ; среднее время восстановления изделия – \bar{t}_B ; среднее время восстановления системы – \bar{t}_{BC} ; вес отказов по группам элементов – m .

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К РЕШЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

Задача 1. В течение некоторого периода времени проводилось наблюдение за работой одного восстанавливаемого изделия. За весь период наблюдения было зарегистрировано 15 отказов. До начала наблюдения изделие проработало 258 час, к концу наблюдения наработка изделия составила 1233 час. Требуется определить среднюю наработку на отказ \bar{t}_{cp} .

Решение:

Нарботка изделия за наблюдаемый период равна

$$t = t_2 - t_1 = 1233 - 258 = 975 \text{ час.}$$

Принимая $\sum_{i=1}^n t_i = 975$ час по формуле, находим среднюю наработку на отказ:

$$\bar{t}_{cp} = \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) / n = 975 / 15 = 65 \text{ час.}$$

Задача 2. Проводилось наблюдение за работой трех одинаковых восстанавливаемых изделий. За период наблюдения было зафиксировано по первому изделию 6 отказов, по второму – 11 отказов и по третьему – 8 отказов.

Нарботка первого изделия составила 181 час, второго – 329 часов и третьего – 245 часов. Требуется определить среднюю наработку изделий на отказ.

Решение

$$t_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n t_{ij} = 181 + 329 + 245 = 755 \text{ часов.}$$

Суммарное количество отказов

$$n_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N n_j = 6 + 11 + 8 = 25 \text{ отказов.}$$

Средняя наработка на отказ по формуле (2) будет равна

$$\bar{t}_{cp} = \left(\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n t_{ij} \right) / \sum_{j=1}^N n_j = t_{\Sigma} / n_{\Sigma} = 755 / 25 = 30,2 \text{ часа.}$$

Задача 3. Система состоит из 5 изделий, причем отказ любого одного из них ведёт к отказу системы. Известно, что первое изделие отказало 34 раза в течение 952 часов работы, второе – 24 раза в течение 960 часов работы, а остальные изделия в течение 210 часов работы отказали 4, 6 и 5 раз соответственно. Требуется определить наработку на отказ системы в целом, если справедлив экспоненциальный закон надежности для каждого из пяти изделий.

Решение

Для решения этой задачи воспользуемся соотношениями:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i \text{ и } t_{cp} = \frac{1}{\lambda_c}.$$

Интенсивность отказов для каждого изделия:

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{34}{952} = 0,0357 \frac{1}{\text{час}}, \bar{\lambda}_2 = \frac{24}{960} = 0,025 \frac{1}{\text{час}}, \bar{\lambda}_{3,4,5} = \frac{4+6+5}{210} = 0,0714 \frac{1}{\text{час}}.$$

Интенсивность отказов системы

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i = \bar{\lambda}_1 + \bar{\lambda}_2 + \bar{\lambda}_{3,4,5} = 0,0357 + 0,025 + 0,0714 = 0,1321 \frac{1}{\text{час}}.$$

Средняя наработка на отказ системы:

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,1321} = 7,57 \text{ часов.}$$

Задача 4. При эксплуатации системы было зарегистрировано $n = 40$ отказов. Распределение отказов по группам элементов и время, затраченное на восстановление, приведено в табл. 4.1. Найти величину среднего времени восстановления системы.

Таблица 4.1 – Исходные данные

Группа элементов	Количество отказов по группе n_i	Вес отказов по группе	Время восстановления t_i , мин	Суммарное время восстановления по группе t_B , мин
ППП	8	0,2	80 59 110 91 45 43 99 73	600
Резисторы и конденсаторы	10	0,25	61 73 91 58 44 112 82 54 91 94	760
Реле, трансформаторы, дроссели	4	0,1	102 98 124 128	452
ЭВП	14	0,35	60 64 56 36 65 44 42 33 32 23	700
Прочие элементы	4	0,1	125 133 115 107	480

Решение

Определяем среднее время восстановления аппаратуры по группам элементов.

Для полупроводниковых приборов

$$\bar{t}_e = \sum_{i=1}^n t_i / n_i = 600 / 8 = 75 \text{ мин.}$$

Аналогично находим:

- для резисторов и конденсаторов – 76 мин;
- для реле, трансформаторов, дросселей – 113 мин;
- для ЭВП – 50 мин;
- для прочих элементов – 120 мин.

Рассчитываем среднее время восстановления системы по формуле

$$\bar{t}_{вс} = \sum_{i=1}^m t_{вi} \cdot m_i$$

где $t_{вi}$ – среднее время восстановления элементов i -й группы;
 m_i – вес отказов по группам элементов.

Подставляя значения данных в формулу, получим

$$\bar{t}_{вс} = 0,2 \cdot 75 + 0,25 \cdot 76 + 0,1 \cdot 113 + 0,35 \cdot 50 + 0,1 \cdot 120 = 75 \text{ мин.}$$

Задача 5. Изделие имело среднюю наработку на отказ $t_{ср} = 65$ часов и среднее время восстановления $t_{в} = 1,25$ часа. Требуется определить коэффициент готовности изделия после отказа и восстановления.

Решение

По определению коэффициент готовности изделия будет равен

$$K_{Г} = \frac{t_{ср}}{t_{ср} + t_{в}} = \frac{1}{1 + t_{в}/t_{ср}} = \frac{1}{1 + 0,019} = 0,98.$$

Задача 6. Определить предельно-допустимое значение диагностического параметра по статистической выборке 50 значений мощности, развиваемой двигателями транспортного средства, приведенной ниже в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Значения мощности, развиваемой двигателями транспортного средства, л. с.

100	95	85	96	104	85	97	95	82	100
85	107	75	95	103	87	90	99	102	98
102	86	90	88	93	100	89	90	101	90
94	96	96	92	97	99	94	111	99	93
100	92	94	98	95	99	96	98	99	98

Решение

1 Определяем максимальное и минимальное значения параметра

$$X_{\max} = 111 \text{ л. с.}; \quad X_{\min} = 75 \text{ л. с.}$$

2 Определяем диапазон разброса значений параметра как разницу максимального и минимального значений параметра

$$D = X_{\max} - X_{\min} = 111 - 75 = 36 \text{ л. с.}$$

3 Для построения графика плотности распределения параметра выбираем количество интервалов (принимая $K = 7$) и определяем величину интервала

$$\Delta = \frac{D}{K} = \frac{36}{7} = 5,14.$$

4 По величине интервала рассчитываем границы интервалов по формуле

$$P_l = X_{\min} + (l - 1) \cdot \Delta,$$

где l – номер интервала ($l = 1, 2, 3, \dots, K$);

P_l – нижняя граница интервала.

5 Производим распределение значений параметра по интервалам и оформляем это в виде таблицы 4.3.

Таблица 4.3 – Распределение параметра по интервалам

Интервалы значений параметра	Количество значений параметра	Частость, $P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$	Накопленная частость, $F_i = \sum_{i=1}^k P_i$
75,00–80,14	1	0,02	0,02
80,14–85,28	4	0,08	0,1
85,28–90,42	8	0,16	0,26
90,42–95,56	11	0,22	0,48
95,56–100,70	19	0,38	0,86
100,70–105,84	5	0,10	0,96
105,84–111,00	2	0,04	1,00

6 Определим частость и накопленную частость для каждого интервала по формулам

$$P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad F_i = \sum_{i=1}^k P_i,$$

где n_i – количество значений параметра;

$\sum_{i=1}^k n_i$ – общее количество значений мощности по статистической выборке.

ке.

7 Строим график плотности распределения значений параметра P_i и кривую функции распределения F_i (см. рис. 4.1).

8 В соответствии с рекомендациями [1] принимаем, что состояние автомобильного парка должно соответствовать обеспечению γ – ресурсного пробега. Для двигателей $\gamma = 0,85$.

Тогда $1 - \gamma = 1 - 0,85 = 0,15$, т. е. общее число автомобилей, имеющих мощность двигателя ниже предельно допустимого значения должно быть не более 15 %. Откладываем на оси ординат значение 0,15 и проводим горизонталь до пересечения с кривой функции распределения F_i . На оси абсцисс находим значение параметра, соответствующее точке пересечения горизонталей с кривой F_i . Это значение соответствует 85 л. с. Следовательно, предельно-допустимое значение мощности двигателя равно $X_{ПД} = 85$ л. с.

9 Заключение: В предложенном примере количество двигателей с мощностью менее 85 л. с. составляет 5 единиц.

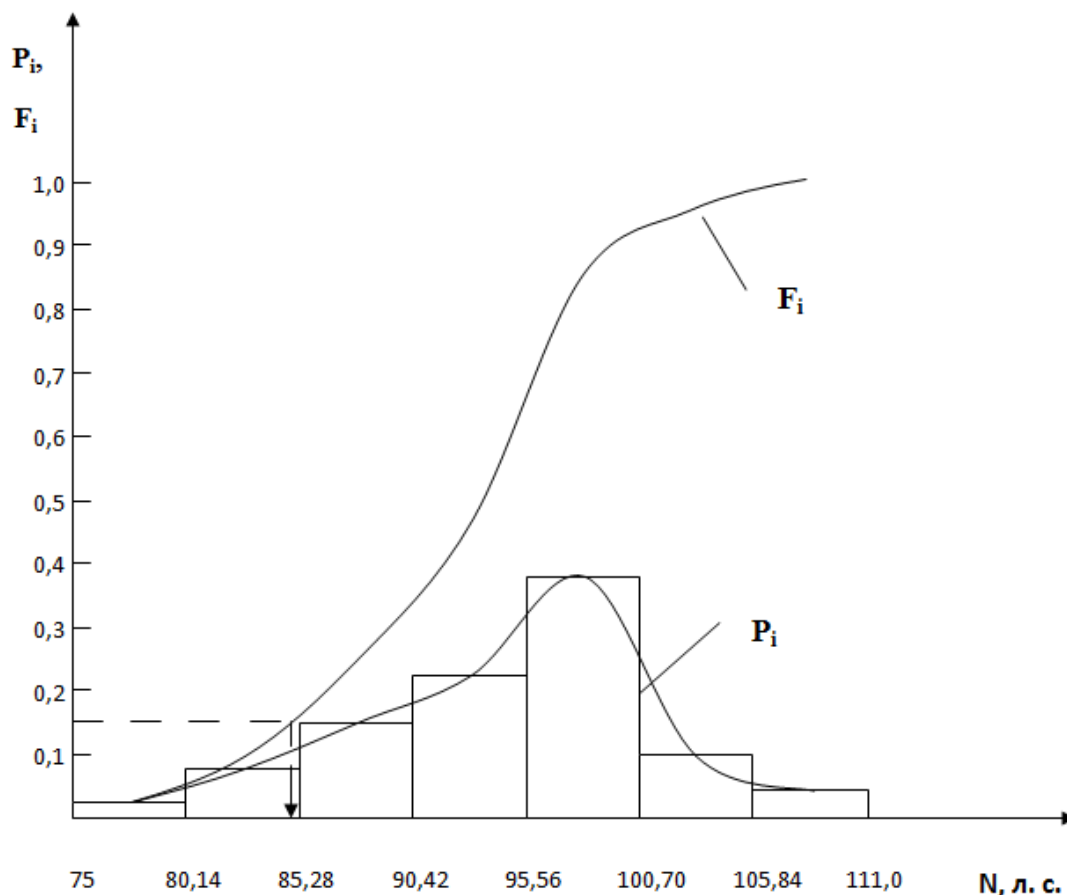


Рисунок 4.1 – Графики плотности (P_i) и функции (F_i) распределения случайной величины

Задача 7. Определить предельно допустимое значение диагностического параметра и характеристики случайной величины по статистической выборке 60 значений мощности, развиваемой двигателями транспортного средства, приведенной ниже (двухмодальное распределение параметра).

Таблица 4.4 – Значение мощности, развиваемой двигателями транспортного средства, л. с.

100	58	95	90	86	104	61	85	97	95
82	64	100	85	107	111	65	75	103	87
90	65	99	102	98	102	51	86	90	88
93	55	100	89	90	101	72	90	94	96
96	57	92	97	99	94	58	95	99	93
100	92	94	98	95	99	96	98	99	98

Решение

Характеристиками случайной величины являются среднее значение случайной величины \bar{X} , ее среднеквадратическое отклонение σ_x и вариация, которая оценивается коэффициентом вариации v .

Определим эти характеристики

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{5350}{60} = 89,17 \text{ л. с.}$$

Примем $\bar{X} = 89$ л. с. (для упрощения расчетов)

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{12264}{59}} = 14,4 \text{ л. с.}$$

$$v = \frac{\sigma_x}{\bar{X}} = \frac{14,4}{89} = 0,16.$$

Случайные величины, у которых $v \leq 0,1$, имеют малую вариацию; при $0,1 < v \leq 0,33$ – среднюю вариацию; при $v > 0,33$ – большую вариацию.

Точечные оценки позволяют предварительно судить о качестве изделий и технологических процессов. Чем ниже средний ресурс – \bar{X} и выше коэффициент вариации – v , тем ниже качество конструкции и изготовления (или ремонта) изделия.

Таким образом, мы определили характеристики случайной величины.

Далее решение задачи осуществляем, аналогично решению задачи 6, выполняя действия, изложенные в п. 1–6.

В результате выполнения этих действий мы получим распределение параметра по интервалам (табл. 4.5).

По полученным значениям частот (см. табл. 4.3) построим кривую плотности распределения (рис. 4.2). Как видно из рис. 4.2, мы имеем двухмодальное распределение.

Таблица 4.5 – Распределение параметра по интервалам

Интервалы значений параметра	Количество значений параметра	Частость, $P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$	Накопленная частость, $F_i = \sum_{i=1}^k P_i$
51,00–59,57	5	0,08	0,08
59,57–68,14	4	0,07	0,15
68,14–76,71	2	0,03	0,18
76,71–85,28	3	0,05	0,23
85,28–93,85	14	0,23	0,46
93,85–102,42	28	0,47	0,93
102,42–111,0	4	0,07	1,00

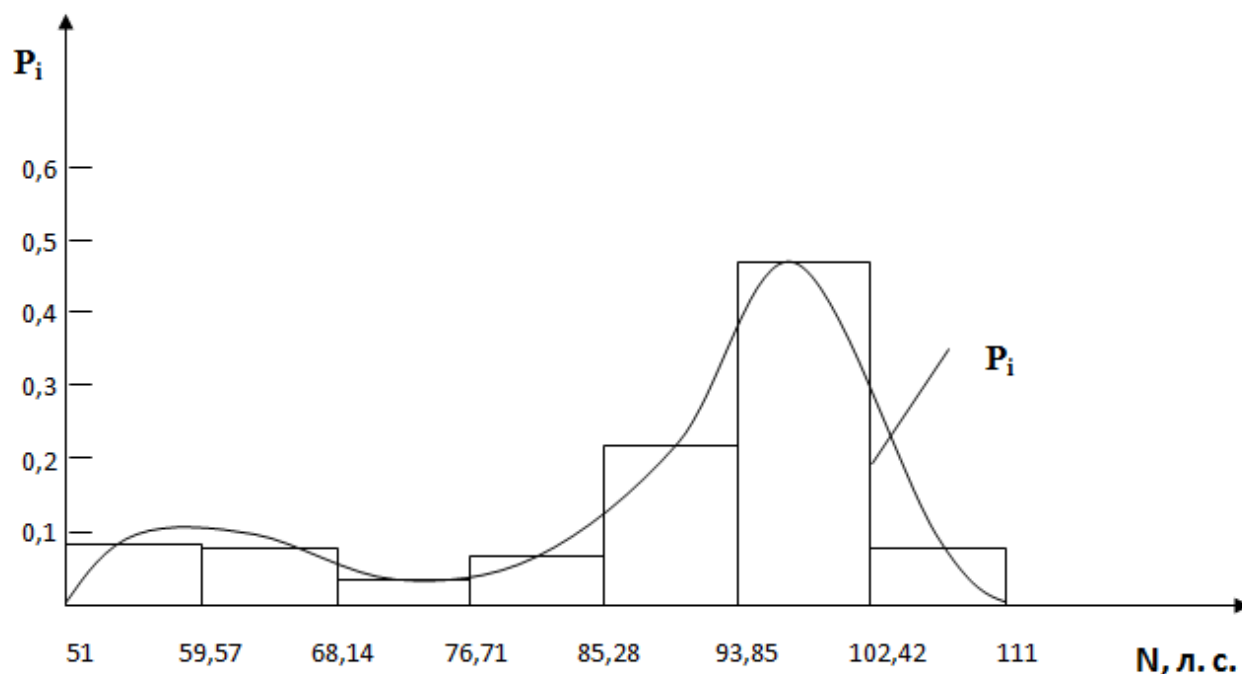


Рисунок 4.2 – График плотности распределения случайной величины

Для решения задачи необходимо из выборки значений случайной величины отбросить те значения, которые создают левый «пик» на графике. Из графика (см. рис. 4.2) видно, что необходимо убрать значения, лежащие в интервале 51–75 л. с. Это такие значения: 51, 55, 58, 61, 64, 65, 65, 57, 58 – всего их 9.

По оставшейся выборке составляем новое распределение параметра по интервалам (табл. 4.6) и строим графики плотности и функции распределения параметра (рис. 4.3).

Таблица 4.6 – Распределение параметра по интервалам

Интервал значений параметра	Количество значений параметра	Частость, $P_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}$	Накопленная частость, $F_i = \sum_{i=1}^k P_i$
68,14–76,71	2	0,04	0,04
76,71–85,28	3	0,06	0,10
85,28–93,85	14	0,27	0,37
93,85–102,42	28	0,55	0,92
102,42–111,0	4	0,08	1,00

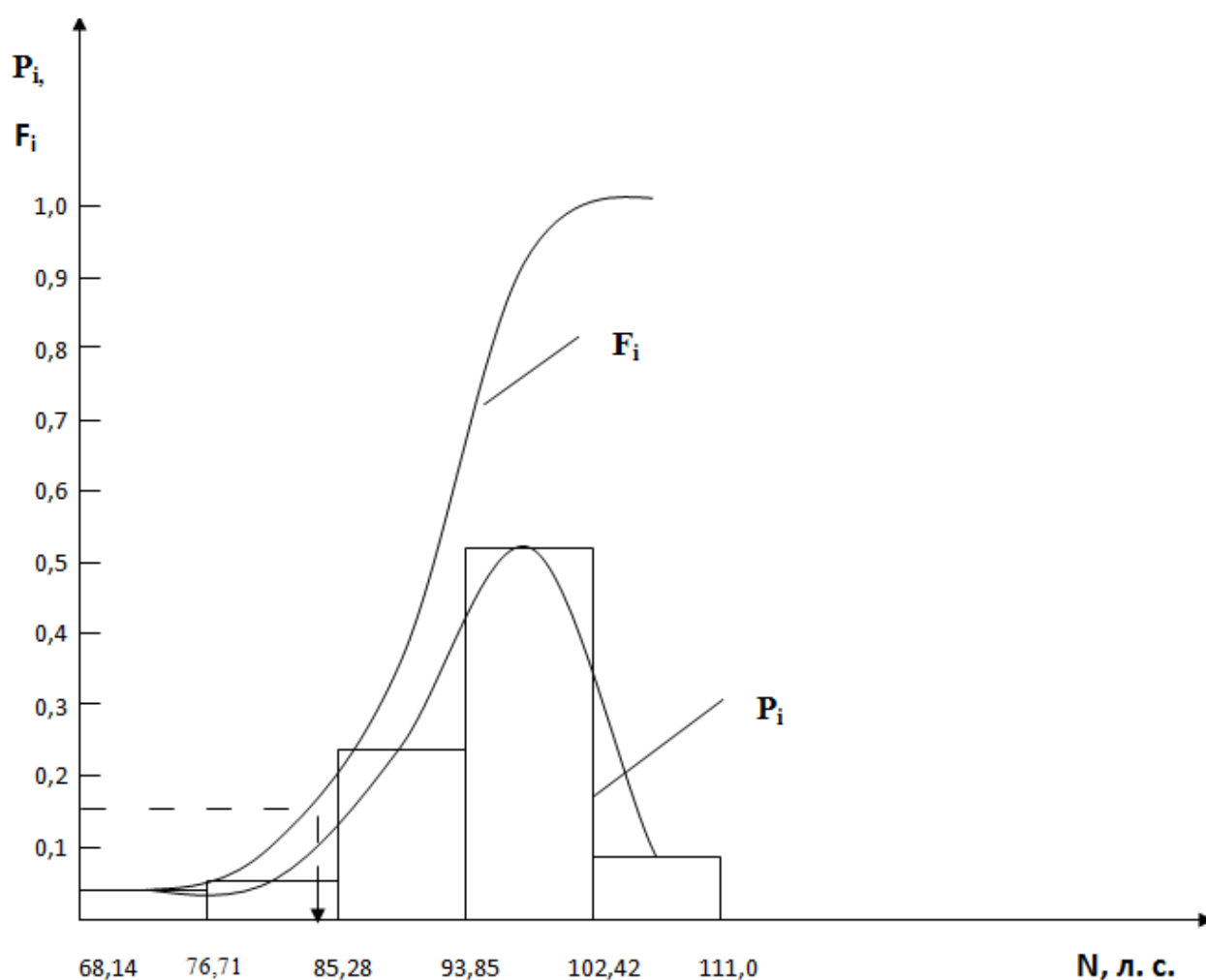


Рисунок 4.3 – Графики плотности (P_i) и функции распределения (F_i) случайной величины

Для $\gamma = 0,85$ произведем действия по определению предельно допустимого значения диагностического параметра. Получим $X_{ПД} = 83$ л. с.

5 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Задача 1

В течение некоторого периода времени проводилось наблюдение за работой одного восстанавливаемого изделия. За весь период наблюдения было зарегистрировано n отказов. До начала наблюдения изделие проработало t_1 час, к концу наблюдения наработка изделия составила t_2 час. Требуется определить среднюю наработку на отказ $\overline{t_{cp}}$. Исходные данные приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные

№ варианта	Число отказов, n	Время до начала наблюдений t_1 , час	Нарработка изделия к концу наблюдения, t_2 , час
1	15	258	1233
2	18	260	1300
3	20	280	1350
4	22	265	2561
5	24	280	1450
6	26	350	1550
7	28	320	2356
8	30	420	1458
9	16	300	1596
10	17	550	1654
11	19	500	2311
12	21	425	2541
13	23	413	2561
14	25	256	2560
15	27	356	3562
16	29	250	2165
17	11	235	2458
18	13	260	2359
19	15	270	2345
20	12	280	2560
21	14	400	1245
22	16	290	2351
23	23	310	1254
24	24	330	2456
25	25	333	2654
26	28	270	1233
27	30	280	1300
28	16	400	1350
29	17	290	2561
30	19	310	1450

Задача 2

В течение некоторого времени проводилось наблюдение за работой N_0 экземпляров восстанавливаемых изделий. Каждый из образцов проработал t_i часов и имел n_i отказов. Требуется определить среднюю наработку на отказ по данным наблюдения за работой всех изделий. Исходные данные для расчёта приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные

Номер варианта	Исходные данные									
	n_1	t_1 , час	n_2	t_2 , час	n_3	t_3 , час	n_4	t_4 , час	n_5	t_5 , час
1	3	90	6	270	4	140	5	230	3	180
2	12	960	15	1112	8	808	7	1490	–	–
3	6	144	5	125	3	80	8	176	5	150
4	6	144	5	125	3	80	–	–	–	–
5	10	1020	26	3120	24	3480	18	2700	–	–
6	18	2700	32	4000	24	3480	16	2080	24	3480
7	3	720	4	1040	2	500	6	1800	–	–
8	1	300	3	600	6	2300	7	2450	–	–
9	3	1650	2	1200	4	2300	–	–	–	–
10	1	300	3	600	24	3480	18	2700	–	–
11	3	90	6	270	24	3480	16	2080	24	3480
12	12	960	15	1112	2	500	6	1800	–	–
13	6	144	5	125	6	2300	7	2450	–	–
14	10	1020	26	3120	4	2300	–	–	–	–
15	6	144	5	125	3	80	–	–	–	–
16	6	144	5	125	3	80	5	230	3	180
17	10	1020	26	3120	24	3480	7	1490	–	–
18	18	2700	32	4000	24	3480	8	176	5	150
19	18	2700	32	4000	24	3480	–	–	–	–
20	3	720	4	1040	2	500	5	230	3	180
21	1	300	3	600	6	2300	7	1490	–	–
22	3	1650	2	1200	4	2300	8	176	5	150
23	12	960	15	1112	24	3480	8	176	5	150
24	6	144	5	125	24	3480	–	–	–	–
25	10	1020	26	3120	2	500	5	230	3	180
26	3	90	4	1040	2	500	5	230	3	180
27	12	960	3	600	6	2300	7	1490	–	–
28	6	144	2	1200	4	2300	8	176	5	150
29	6	144	3	600	24	3480	8	176	5	150
30	10	1020	6	270	24	3480	–	–	–	–

Задача 3

Система состоит из N приборов, имеющих разную надежность. Известно, что каждый из приборов, проработав вне системы t_i часов, имел n_i отказов. Для каждого из приборов справедлив экспоненциальный закон распределения отказов. Найти среднюю наработку на отказ всей системы. Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3 – Исходные данные

Вариант											
	N	t_1 , час	n_1	t_2 , час	n_2	t_3 , час	n_3	t_4 , час	n_4	t_5 , час	n_5
1	3	4800	9	5500	3	1200	3	–	–	–	–
2	5	256	6	540	8	780	10	250	4	900	12
3	3	2000	6	1860	4	2160	3	–	–	–	–
4	4	960	12	1112	15	808	8	1490	7	–	–
5	5	90	3	270	6	140	4	230	5	180	3
6	5	600	45	600	2	200	4	200	6	200	2
7	3	144	6	125	5	80	3	–	–	–	–
8	4	720	3	1040	4	500	2	1800	6	–	–
9	3	1650	3	150	5	176	10	–	–	–	–
10	4	120	1	120	2	90	8	700	1	–	–
11	3	2000	6	1860	4	1200	3	–	–	–	–
12	5	960	12	1112	15	780	10	250	4	900	12
13	3	90	3	270	6	2160	3	–	–	–	–
14	4	600	45	600	2	808	8	1490	7	–	–
15	4	4800	9	5500	3	808	8	1490	7	–	–
16	5	256	6	540	8	140	4	230	5	180	3
17	5	2000	6	1860	4	200	4	200	6	200	2
18	5	960	12	1112	15	780	10	250	4	900	12
19	3	2000	6	1860	4	1200	3	–	–	–	–
20	4	960	12	1112	15	780	10	250	7	–	–
21	5	90	3	270	6	2160	3	180	3	–	–
22	5	600	45	600	2	808	8	1490	6	200	2
23	5	1650	3	150	5	140	4	230	5	180	3
24	5	120	1	120	2	200	4	200	6	200	2
25	5	200	6	1860	4	780	10	250	4	900	12
26	3	120	9	5500	3	1200	3	–	–	–	–
27	4	2000	6	540	8	780	8	1490	7	–	–
28	4	960	6	1860	4	2160	8	1490	7	–	–
29	5	90	12	1112	15	808	4	230	5	180	3
30	5	600	3	270	6	140	4	200	6	200	2

Задача 4

Система состоит из k групп элементов. В процессе эксплуатации зафиксировано n отказов. Количество отказов в j -й группе равно n_j ; время, затраченное на восстановления элементов j -й группы равно t_j . Требуется вычислить среднее время восстановления системы. Исходные данные для расчёта приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4 – Исходные данные

Вариант												
	k	n	n_1	$t_1,$ МИН.	n_2	$t_2,$ МИН.	n_3	$t_3,$ МИН.	n_4	$t_4,$ МИН.	n_5	$t_5,$ МИН.
1	5	12	1	20	4	30	3	16	2	36	2	40
2	5	40	5	15	8	25	12	60	6	40	9	20
3	4	9	2	37	1	48	2	60	4	25	0	0
4	5	18	3	72	5	40	4	36	2	120	4	60
5	5	68	14	18	8	40	27	20	6	30	13	15
6	5	15	1	20	4	30	4	36	2	120	4	60
7	5	59	5	15	8	25	27	20	6	30	13	15
8	5	15	3	72	5	40	3	16	2	36	2	40
9	5	49	14	18	8	40	12	60	6	40	9	20
10	5	15	1	20	4	30	4	36	2	120	4	60
11	5	59	5	15	8	25	27	20	6	30	13	15
12	5	40	14	18	8	40	12	60	2	120	4	60
13	5	28	1	20	4	30	4	36	6	30	13	15
14	5	46	5	15	8	25	27	20	2	120	4	60
15	5	9	2	37	1	48	2	16	2	36	2	40
16	5	27	3	72	5	40	4	60	6	40	9	20
17	4	53	14	18	8	40	27	60	4	25	0	0
18	5	55	14	18	8	40	27	20	2	120	4	60
19	5	28	1	20	4	30	4	36	6	30	13	15
20	5	46	5	15	8	25	27	20	2	120	4	60
21	5	15	3	72	5	40	3	16	2	36	2	40
22	5	49	17	18	8	40	12	60	6	40	9	20
23	4	13	1	20	4	30	4	60	4	25	0	0
24	5	46	5	15	8	25	27	36	2	120	4	60
25	5	53	14	18	8	40	12	20	6	30	13	15
26	4	10	1	20	4	30	3	16	2	36	0	0
27	5	35	5	15	8	25	12	60	6	40	4	60
28	5	41	14	18	8	48	2	60	4	25	13	15
29	5	15	1	20	4	40	4	36	2	120	4	60
30	5	48	5	15	8	40	27	20	6	30	2	40

Задача 5

Изделие имеет среднюю наработку на отказ $t_{\text{ф}}$ и среднее время восстановления $t_{\text{в}}$. Требуется определить коэффициент готовности изделия. Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5 – Исходные данные

№ п/п	Исходные данные	
	$\bar{t}_{\text{ср}}$, час.	$\bar{t}_{\text{в}}$, час.
1	230	12
2	556	23
3	556	2,5
4	430	8
5	143	1,7
6	200	12
7	235	6
8	351	8
9	156	4
10	854	3,5
11	526	6,5
12	354	8,9
13	560	6
14	236	7
15	369	8
16	458	2,5
17	458	6
18	459	12
19	621	10
20	357	11
21	359	5
22	654	4
23	456	3
24	395	6
25	500	5
26	156	12
27	854	6
28	351	8
29	156	2,5
30	854	6

Задача 6. Определить предельно допустимое значение диагностического параметра по статистической выборке n значений мощности, развиваемой двигателями транспортного средства, приведенной ниже.

Вариант 1 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, л. с.)

35,2	32,4	36,5	33,8	33,8	32,8	33,0	31,8	34,5	36,5
32,6	38,7	34,8	30,5	37,4	31,2	33,9	40,5	36,3	37,5
35,8	26,7	37,0	35,0	37,5	36,2	33,8	43,0	38,8	37,8

Вариант 2 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, л. с.)

35,2	37,5	33,0	33,8	36,6	32,6	35,0	36,2	37,8	38,7
35,8	36,5	33,5	37,8	43,0	30,5	33,8	38,7	36,3	33,8
31,8	36,5	33,8	34,5	32,0	32,8	37,5	26,8	37,0	38,7
34,7	32,4	30,8	35,0	31,3	34,8	38,4	38,6	37,9	38,8

Вариант 3 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, л. с.)

33,8	35,0	38,7	33,0	32,6	37,0	36,5	34,5	26,6	35,0
33,0	30,8	36,5	33,5	32,8	30,5	34,8	38,7	36,2	36,3
37,9	34,8	43,0	40,5	31,3	33,8	32,4	38,8	37,5	36,5
37,5	31,8	33,8	37,0	32,0	34,7	36,6	37,8	37,8	37,4
35,0	34,5	35,2	31,2	37,4	38,6	33,8	35,8	35,5	39,8

Вариант 4 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, кВт)

25,9	23,8	26,8	24,8	24,8	24,2	24,3	23,4	25,4	26,8
24,0	28,4	25,6	22,4	27,5	23,0	25,0	29,8	26,7	27,6
26,4	19,7	27,2	25,7	27,6	26,6	24,8	31,6	28,6	27,8

Вариант 5 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, кВт)

25,9	23,8	24,6	35,4	23,0	22,4	24,8	26,6	27,8	28,8
26,4	26,8	24,8	25,7	31,8	24,0	25,7	27,7	26,7	24,9
23,4	26,8	22,8	27,8	23,6	24,1	27,6	19,6	27,2	28,8
25,5	27,6	24,3	24,8	26,9	25,6	28,2	28,4	27,9	28,6

Вариант 6 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, кВт)

25,8	24,9	25,8	24,3	24,0	27,2	26,9	25,4	19,6	28,4
26,7	24,3	22,7	24,6	24,2	22,4	25,6	28,5	26,4	26,9
26,8	27,9	31,9	29,8	23,0	24,9	23,8	28,6	27,6	25,6
27,5	27,5	23,4	27,2	23,5	25,5	27,0	27,8	27,8	24,8
29,3	25,8	25,4	23,0	27,5	28,4	24,9	26,4	26,1	25,9

Вариант 7 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, л. с.)

52	56	57	53	59	57	54	58	48	52
56	52	59	58	50	42	60	51	61	55
50	67	53	45	55	54	50	62	55	47

Вариант 8 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, л. с.)

49	54	56	52	57	57	59	60	61	60
56	52	47	50	53	53	45	50	57	58
51	55	52	42	50	62	55	58	67	61
55	49	54	48	54	52	53	56	59	50

Вариант 9 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, л. с.)

59	53	49	57	52	60	54	60	58	61
55	51	45	52	51	52	50	57	63	50
52	62	54	59	48	67	58	61	53	56
54	56	47	55	57	50	42	49	56	60
61	55	56	52	48	57	49	53	50	58

Вариант 10 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, кВт)

38	41	42	43	39	42	40	43	35	38
41	38	43	43	37	31	44	38	45	41
35	50	39	33	41	40	37	46	41	38

Вариант 11 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, кВт)

44	40	41	38	42	42	43	44	45	36
43	38	35	37	39	39	33	37	42	41
45	41	38	31	37	45	41	43	49	38
37	36	40	39	40	38	39	41	43	41

Вариант 12 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, кВт)

43	39	36	42	38	44	40	44	43	45
41	37	33	38	40	38	37	42	46	37
38	46	40	43	39	49	43	45	39	41
40	41	35	41	42	37	31	36	41	44
45	41	41	38	39	42	36	39	37	43

Вариант 13 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, л. с.)

79	69	82	85	77	74	90	87	88	79
82	84	88	62	81	83	100	84	75	86
76	80	95	73	86	77	78	65	80	83

Вариант 14 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, л. с.)

73	76	82	72	84	80	84	88	85	78
80	74	77	83	76	95	77	83	86	87
84	62	90	78	91	83	69	100	71	84
88	81	75	65	79	84	82	79	82	85

Вариант 15 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, л. с.)

69	84	81	77	80	76	88	82	91	78
80	71	84	82	79	85	74	90	62	89
78	87	73	85	83	78	84	75	95	84
83	79	84	74	65	84	77	86	76	90
88	82	80	86	72	100	83	79	75	77

Вариант 16 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, кВт)

61	51	60	63	57	54	66	64	65	58
63	62	65	46	60	61	76	62	55	60
58	59	70	54	63	57	57	48	59	56

Вариант 17 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, кВт)

54	56	60	53	62	59	62	65	63	57
59	54	57	61	56	70	57	61	64	64
62	46	66	57	67	61	51	76	52	62
65	60	55	48	58	62	60	58	60	63

Вариант 18 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, кВт)

51	62	60	57	59	56	65	60	67	57
59	57	62	60	58	63	54	66	46	65
57	64	54	63	61	57	62	55	70	62
61	52	62	54	48	62	57	63	56	66
65	60	59	63	53	76	61	58	55	57

Вариант 19 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, л. с.)

106	92	93	86	99	85	96	105	102	94
115	109	80	94	89	121	100	97	99	103
91	95	111	98	95	75	104	101	98	103

Вариант 20 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, л. с.)

98	85	106	101	103	87	108	96	95	93
103	75	86	109	92	91	104	110	115	95
101	99	103	89	80	121	93	105	96	97
99	102	100	99	90	111	98	94	95	94

Вариант 21 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, л. с.)

99	106	92	85	104	100	110	95	88	93
91	105	109	96	86	97	101	115	75	87
98	99	104	80	121	89	98	108	102	95
95	91	101	98	111	105	90	99	110	103
103	93	94	95	99	108	94	87	103	97

Вариант 22 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, кВт)

77	68	68	73	63	62	71	77	75	69
85	80	59	69	65	89	73	71	73	76
67	70	81	72	70	55	77	74	72	76

Вариант 23 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, кВт)

72	62	78	74	76	64	80	70	70	68
76	55	63	80	68	67	76	81	85	70
74	73	76	65	59	89	68	72	71	71
73	75	73	73	66	81	72	69	70	69

Вариант 24 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, кВт)

73	78	68	62	76	73	81	70	65	68
67	77	80	70	63	71	74	85	55	64
72	73	76	59	89	65	72	79	75	70
70	67	74	72	82	77	66	73	81	77
77	68	69	70	73	79	69	64	77	71

Вариант 25 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, л. с.)

166	172	190	191	175	182	169	180	210	178
186	156	167	173	164	192	152	177	170	220
171	136	188	160	168	176	181	194	179	201

Вариант 26 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, л. с.)

166	186	201	183	170	164	169	179	171	194
175	184	167	152	198	178	174	220	192	158
156	210	176	190	182	168	204	170	180	172
185	188	160	191	177	136	181	173	162	190

Вариант 27 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, л. с.)

175	186	166	202	185	167	194	180	138	169
184	220	188	173	178	198	173	168	190	181
190	176	201	172	152	184	179	204	174	170
156	180	191	177	168	172	162	210	182	200
192	160	170	164	187	158	183	171	163	193

Вариант 28 (к задаче 6) (выборка из 30 значений, кВт)

122	126	140	140	129	134	124	132	154	131
137	115	123	127	121	141	112	130	125	162
126	100	138	118	123	129	133	143	132	148

Вариант 29 (к задаче 6) (выборка из 40 значений, кВт)

122	137	148	135	125	121	124	132	126	143
129	135	123	112	146	131	128	162	141	116
115	154	129	140	134	124	150	132	125	126
136	138	118	140	130	100	134	125	119	140

Вариант 30 (к задаче 6) (выборка из 50 значений, кВт)

129	137	122	149	136	123	143	132	101	124
135	162	138	127	131	146	127	123	140	133
140	129	148	126	112	135	132	150	128	125
115	132	140	130	123	126	119	155	134	147
141	118	125	121	137	116	134	126	120	142

Задача 7. Определить предельно-допустимое значение диагностического параметра и характеристики случайной величины по статистической выборке n значений мощности, развиваемой двигателями транспортного средства, приведенной ниже (двухмодальное распределение параметра).

Вариант 1 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, л. с.)

35,2	32,4	24,2	33,8	21,0	32,8	33,0	31,8	17,0	36,5
23,0	38,7	36,5	30,5	33,8	31,2	18,0	40,5	34,5	37,5
32,6	26,7	34,8	20,0	37,4	17,3	33,9	43,0	36,3	18,8
35,8	19,5	37,0	35,0	37,5	36,2	33,8	18,5	38,8	37,8

Вариант 2 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, л. с.)

35,2	37,5	33,2	33,8	36,6	17,3	35,0	36,2	37,8	38,7
35,8	20,0	33,5	37,8	43,0	32,6	33,8	18,0	36,3	33,8
31,8	36,5	33,8	34,5	19,5	30,5	37,5	38,7	37,0	18,5
21,0	36,5	24,2	35,0	32,0	32,8	18,8	26,8	37,9	38,7
34,7	32,4	30,8	23,0	31,3	34,8	38,4	38,6	17,0	38,8

Вариант 3 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, л. с.)

33,8	35,0	38,7	33,0	32,6	37,0	36,5	34,5	17,3	35,0
33,0	30,8	21,0	33,5	32,8	30,5	19,5	38,7	26,6	36,3
19,5	34,8	35,5	40,5	18,5	33,8	34,8	38,8	36,2	18,8
37,9	20,0	43,0	37,0	31,3	23,0	32,4	17,0	37,5	36,5
37,5	31,8	33,8	24,2	32,0	34,7	36,6	37,8	37,8	37,4
35,0	34,5	35,2	31,2	37,4	38,6	33,8	35,8	35,5	39,8

Вариант 4 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, кВт)

26,0	24,8	17,8	24,8	15,5	24,2	24,3	23,4	12,5	26,8
16,9	28,6	26,8	22,4	24,8	23,0	13,3	29,8	25,4	27,6
24,0	19,6	25,6	14,7	27,7	12,7	21,9	31,6	26,7	13,8
26,6	14,3	27,2	25,8	27,5	26,6	24,8	13,6	28,6	27,8

Вариант 5 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, кВт)

26,0	27,6	24,6	24,8	26,9	12,7	25,8	26,6	27,8	28,6
26,3	14,7	24,7	27,8	31,6	24,0	24,8	13,3	26,7	24,8
23,4	26,8	24,8	25,4	14,3	22,4	27,6	28,5	27,2	13,6
15,5	26,8	17,8	25,8	23,6	24,2	13,8	19,7	27,8	28,6
25,6	24,8	22,6	16,9	23,0	25,6	28,3	28,4	12,5	28,6

Вариант 6 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, кВт)

24,8	25,8	28,6	24,3	24,0	27,2	26,8	25,4	12,7	25,8
24,3	22,6	15,5	24,6	24,2	22,4	14,3	28,5	19,7	26,7
14,3	25,6	27,8	29,8	29,8	24,8	25,6	28,6	26,6	13,8
27,8	14,7	31,6	31,6	23,0	16,9	23,6	12,5	27,5	26,8
27,5	23,4	24,8	17,8	23,6	25,6	26,9	27,8	27,8	27,7
25,8	25,4	25,9	25,9	27,5	28,4	24,8	26,4	26,1	29,3

Вариант 7 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, л. с.)

52	56	57	38	59	57	54	58	31	52
28	52	59	53	50	35	33	51	48	55
56	67	35	58	33	42	60	30	61	32
50	29	53	45	55	54	50	62	55	47

Вариант 8 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, л. с.)

49	54	56	28	57	57	59	60	61	60
56	29	47	52	53	53	38	50	33	58
32	52	52	50	35	62	45	58	57	61
51	55	31	42	50	52	55	33	67	30
55	49	54	48	54	35	53	56	59	50

Вариант 9 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, л. с.)

59	33	49	35	52	60	54	60	58	61
55	53	45	57	54	31	50	57	63	50
28	51	38	52	48	52	58	33	53	56
52	62	54	59	29	67	42	61	56	30
54	56	47	55	57	50	35	49	50	60
61	55	56	52	48	57	49	53	32	58

Вариант 10 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, кВт)

38	41	42	28	43	42	40	43	23	38
20	38	43	39	37	26	24	37	35	40
41	49	26	43	24	31	44	22	45	23
37	21	39	33	40	40	37	46	40	34

Вариант 11 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, кВт)

36	40	41	20	42	42	43	44	45	44
41	21	34	38	39	39	28	37	24	42
23	38	38	37	26	46	33	43	42	45
37	40	23	31	37	40	40	24	49	22
40	36	40	35	40	26	39	41	43	37

Вариант 12 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, кВт)

43	24	36	26	38	44	40	44	43	45
40	39	33	42	40	23	37	42	46	37
20	37	28	38	35	38	43	24	39	41
38	46	40	43	21	49	31	45	41	22
40	41	34	40	42	37	26	36	37	44
45	40	41	38	35	42	36	39	23	43

Вариант 13 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, л. с.)

80	79	82	85	77	74	48	87	88	79
84	54	88	62	46	83	90	84	48	86
69	82	45	52	81	77	100	50	75	83
55	76	95	73	86	50	78	65	80	49

Вариант 14 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, л. с.)

81	73	82	72	84	48	84	88	85	55
62	80	77	50	76	80	45	49	86	78
74	48	90	83	52	95	77	83	54	87
76	84	46	78	91	83	69	100	71	84
50	88	75	65	79	84	82	79	82	85

Вариант 15 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, л. с.)

82	69	81	45	80	76	88	82	91	54
79	46	84	77	79	50	74	55	62	78
87	80	73	82	48	85	84	90	52	89
49	78	84	85	83	78	48	75	95	84
71	83	50	74	65	84	77	86	76	90
84	88	80	86	72	100	83	79	75	77

Вариант 16 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, кВт)

59	58	60	62	57	54	35	64	65	58
62	40	65	46	34	62	66	62	35	63
51	60	33	38	60	37	73	37	55	62
40	56	70	54	63	47	57	48	59	36

Вариант 17 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, кВт)

60	54	60	53	62	35	62	65	62	40
46	59	57	37	56	59	33	36	63	57
54	35	66	62	38	70	57	62	40	64
56	62	34	57	67	62	51	73	52	62
37	65	55	48	58	62	60	58	60	62

Вариант 18 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, кВт)

60	51	60	33	59	56	65	60	67	40
58	34	62	57	58	37	54	40	46	57
64	59	54	60	35	62	62	66	38	65
36	57	62	62	62	57	35	55	70	62
52	62	37	54	48	62	57	63	56	66
62	65	59	63	53	73	62	58	55	57

Вариант 19 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, л. с.)

91	106	111	86	58	104	121	55	102	94
109	63	80	94	99	96	65	105	99	61
95	115	52	98	64	100	59	97	69	103
57	92	93	95	89	85	75	101	98	103

Вариант 20 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, л. с.)

99	98	63	101	103	87	104	110	115	66
57	75	86	109	70	91	93	61	96	95
103	99	103	52	92	121	98	105	95	97
101	102	100	89	80	111	59	94	55	94
68	106	58	99	90	108	96	95	93	97

Вариант 21 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, л. с.)

106	99	92	85	103	100	110	95	88	108
105	56	109	96	104	60	101	64	75	93
99	91	104	69	86	97	98	115	102	87
91	68	101	80	121	55	90	108	110	95
52	98	63	98	111	89	62	99	66	103
93	95	94	95	99	105	94	87	103	97

Вариант 22 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, кВт)

67	78	81	63	43	76	89	40	75	69
80	46	59	69	73	70	48	77	73	45
70	85	38	72	47	73	43	71	51	76
42	67	68	70	65	62	55	73	72	76

Вариант 23 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, кВт)

73	72	46	73	76	64	76	81	85	48
42	55	63	80	51	67	68	45	70	70
76	73	76	38	67	89	72	77	70	71
74	75	73	65	59	81	43	69	40	69
50	78	43	73	66	79	70	70	68	71

Вариант 24 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, кВт)

78	73	67	62	76	73	81	70	65	79
77	41	80	70	74	44	74	47	55	69
73	67	76	51	63	71	72	85	75	64
67	50	74	59	89	40	66	79	81	70
38	72	46	72	82	65	46	73	49	76
68	70	69	70	73	77	69	64	76	71

Вариант 25 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, л. с.)

172	166	190	191	175	182	116	180	210	178
156	186	167	132	164	130	169	177	118	220
136	110	188	160	168	115	152	125	170	201
173	171	192	112	131	176	181	194	179	120

Вариант 26 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, л. с.)

185	186	201	118	170	191	169	179	171	131
175	116	167	183	198	164	174	130	192	194
156	184	112	152	120	178	204	220	132	158
115	210	176	190	182	168	125	170	180	172
166	188	160	110	177	136	181	173	162	190

Вариант 27 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, л. с.)

192	186	166	202	130	167	112	180	138	169
156	220	131	173	110	198	194	168	115	181
132	176	188	172	185	125	173	204	190	170
190	180	201	177	152	184	179	210	174	116
184	160	191	164	178	172	120	171	182	200
175	168	170	183	187	158	162	163	118	193

Вариант 28 (к задаче 7) (выборка из 40 значений, кВт)

127	122	140	140	129	134	85	132	155	131
115	137	123	97	121	95	124	130	97	162
100	81	138	118	123	85	112	92	125	148
127	126	141	82	96	129	133	143	132	88

Вариант 29 (к задаче 7) (выборка из 50 значений, кВт)

136	137	148	87	125	140	124	132	126	96
129	85	123	134	146	121	128	96	141	143
115	135	82	112	88	131	150	162	97	116
85	155	129	140	134	123	92	125	132	126
122	138	118	81	130	100	133	127	119	140

Вариант 30 (к задаче 7) (выборка из 60 значений, кВт)

141	137	122	148	95	123	82	132	101	124
115	162	96	127	81	146	143	123	85	133
97	129	138	126	138	92	127	150	140	125
140	132	148	130	112	131	131	155	128	85
135	118	140	121	135	126	88	126	134	147
129	123	125	135	137	116	119	121	87	142

Работа выполняется на листах А4. При этом каждая задача начинается с нового листа. Представляется: условие, исходные данные согласно варианту, необходимые таблицы и расчеты. Каждая задача оканчивается выводами.

Вариант выбирается согласно списку студентов в журнале (ведомости) и согласовывается с преподавателем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 **Митропольский, А.К.** Техника статистических вычислений / А.К. Митропольский. – М. : Книга по требованию, 2012. – 570 с.
- 2 **Войнов, К.Н.** Надежность вагонов / К.Н. Войнов. – М. : Транспорт, 1989. – 110 с.
- 3 ОСТ 24.040.03-79. Тяговый подвижной состав железнодорожного транспорта. Надежность. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1979.
- 4 ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – Введ. 01.01.89. – М. : Государственные стандарты, 2001. – 78 с.
- 5 ГОСТ 17510-79. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. – М. : Изд-во стандартов, 1960.
- 6 **Синопальников, В.А.** Надежность и диагностика технологических систем / В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев. – М. : Высшая школа, 2005. – 343 с.
- 7 **Черняк, И.М.** Надежность специализированных вагонов : учеб. пособие / И.М. Черняк. – Ростов н/Д : РГУПС, 1995. – 64 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Общие понятия о надежности	3
2 Методика статистической обработки информации	5
3 Методика расчета статистических показателей надежности и их анализ	8
4 Методические рекомендации к решению практических заданий	16
5 Варианты заданий	24
Библиографический список	38

Учебное издание

Криворудченко Виктор Федорович

Игнатьев Олег Леонидович

**РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Печатается в авторской редакции

Технический редактор Т.И. Исаева

Подписано в печать 10.07.15. Формат 60×84/16.

Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 2,3.

Тираж экз. Изд. № 50114. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВПО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, 2.