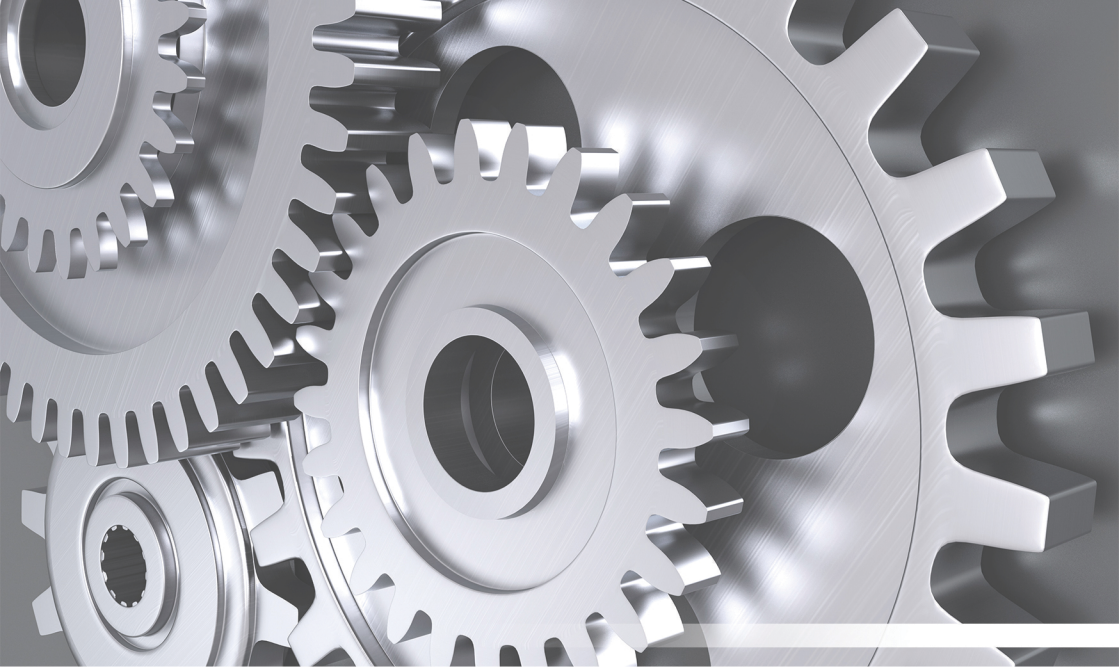




НАДЕЖНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Кызыл
2018

ФГБОУ ВО «ТУВИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

НАДЕЖНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Практикум

КЫЗЫЛ
2018

УДК 62-192: 681 (075.8)
ББК 30.14я73
Н17

Печатается по решению Учебно-методического совета ТувГУ

Надежность механических систем: практикум для студентов специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудования» и направлении подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / сост. С-С.Ш. Саая, О.О. Куулар. – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2018. – 46 с.

Предназначен для студентов обучающихся по специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» специализация «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные средства и оборудования» и направлении подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы».

Приведены задания для практических, самостоятельных работ и контрольные вопросы.

УДК 62-192: 681 (075.8)
ББК 30.14я73

Рецензенты:

Кысыыдак А.С., к.т.н., доцент, зав.кафедрой ОИД ИТФ ТувГУ
Наппит-оол А.С., инженер энерго-механической службы ООО «ТГРК» РТ

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	8
ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ Практическая работа №1 Определение показателей надежности	8
II. ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ.....	15
Практическая работа №2 Определение доверительных интервалов для показателей надежности	15
Практическая работа №3 Определение требуемого уровня надежности проектируемого изделия	17
Практическая работа №4 Расчет количественных показателей надежности.....	24
III. НАДЕЖНОСТЬ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ОСНОВНОМ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ.....	31
Практическая работа №5 Определение интенсивности отказов системы	31
Практическая работа №6 Определение вероятности безотказной работы изделия	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	43
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	45

Введение

За последние года проблема надежности технических систем и входящих в нее элементов сильно обострилась. Это обусловлено ростом сложности современных технических систем; интенсивностью режимов работы системы или отдельных ее частей при высоких температурах, высоких давлениях, высоких скоростях; сложностью условий, в которых эксплуатируются системы: низкие или высокие температуры, высокая влажность, вибрации, ускорение, радиация; требования к качеству работы системы (высокая точность, высокая эффективность); повышение ответственности функций, выполняемых системой, высокой технической и экономической ценой отказа; полной или частичной автоматизацией и исключением непосредственного участия человека при выполнении систем ее функций.

Одной из главных причин обострения внимания к причинам надежности является рост сложности современных технических систем.

Обеспечение выполнения планируемых объемов работ в установленные сроки с минимальными затратами является основным требованием для производств Республики Тыва, предъявляемым к составу и структуре парка строительных, горных и транспортных машин.

По данным о состоянии парка машин принимаются решения о замене выбывающих машин, внедрении новых машин и оборудования. Потребность в новых машинах за счет модернизации, определяется по годовым объемам механизированных работ различных видов с учетом работы наличных машин в парке, вычетом выбывающих и создаваемых заново.

Надежность изделий является основным показателем их качества. Современные технологические машины также состоят из большого количества узлов и деталей, снабжаются автоматическими и электронными системами управления и контроля.

Требования к надежности промышленных изделий, в том числе к надежности машин, постоянно возрастают. Было

выпущено значительное количество публикаций по данному вопросу, большинство из них посвящено стадии эксплуатации техники и часть – вопросам расчета надежности изделий на стадии их разработки. Однако надежность является комплексным понятием, создается и поддерживается на всех стадиях формирования изделия: при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

При организации работ по отработке надежности следует исходить из того, что надежность закладывается на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, обеспечивается при серийном производстве, поддерживается и восстанавливается при техническом обслуживании и ремонте, реализуется при использовании по назначению.

Создание надежных машин требует ускоренных ресурсных испытаний, при которых выявляются отказы наименее надежных деталей и узлов. Но для технологических машин эти испытания могут быть осуществлены лишь частично, да и то в основном для узлов, требующих дорогостоящего оборудования и приборной базы стоимостью до десяти миллионов рублей. Для многих предприятий изготовителей техники это трудноосуществимо, что обрекает их на чрезмерно длительные периоды доводки машин после анализа данных об их реальной эксплуатации. В результате машина доводится тогда, когда ее уже нужно снимать с производства, как морально устаревшую.

Уровень надежности изделия нельзя связывать с изделиями, вырабатывающими весь свой заданный ресурс. Уровень надежности характеризуется затратами на освоение изделия, его отработку, изготовление и эксплуатацию. Поэтому надежность должна иметь интервальную оценку и назначаться такой, какая необходима в каждом конкретном случае.

Так, например, ресурс ходовой части экскаватора или двигателей автомобилей имеет строго ограниченный заданный ресурс. Вместе с тем большой ряд сложных машин, систем, комплексов не допускает даже единичных отказов, так как резко снижается экономический эффект от применения новой техники. Отказ одного из элементов ЭВМ способен привести к остановке

всего вычислительного комплекса или производственного процесса.

Отечественный и зарубежный опыт повышения надежности машин показывает, что наибольший эффект достигается, когда соблюдаются следующие требования:

- надежность изделия закладывается при его проектировании;

- заданные показатели надежности закладываются в техническом задании на изделие, они должны быть не ниже стандартных, на уровне лучших зарубежных аналогов,

- новые модификации изделий должны подвергаться отработке на надежность;

- отработка на надежность должна включать комплекс конструктивных и технологических мероприятий, выполнение расчетов и испытаний, установлений правил пользования, состав и комплектность запасных частей по годам и на весь срок службы изделий;

- допуск к серийному производству должен производиться после подтверждения нормируемых техническим заданием показателей надежности;

- испытания на надежность должны быть комплексными, включать стендовые испытания, поузловые, эксплуатационные;

проведение расчетов по надежности должно выполняться в процессе проектирования, до испытаний, по современным методикам, заложенным стандартами по надежности.

Целью практикума «Надежность механических систем» является содействие успешному освоению и закреплению теоретического материала по дисциплине, которая позволяет на стадиях проектирования с относительно низкими затратами рассчитать основные ресурсные, временные и стоимостные показатели будущей машины, показать, какими методами можно обеспечивать и поддерживать эти показатели на стадии изготовления и эксплуатации машин.

В курсе надежности машин и оборудования изучаются:

1. Закономерности возникновения отказов и способы их устранения;

2. Влияние внешних и внутренних воздействий на процессы, происходящие в изделиях;

3. Методы количественного определения показателей и оценки надежности;

4. Мероприятия по повышению надежности при проектировании, изготовлении и эксплуатации изделия.

Надежность – комплексная наука, относящаяся к компетенции инженера и экономиста. Для решения значительной части вопросов при расчетах используются методы теории вероятности и математической статистики.

Проблема надежности продолжает оставаться одной из основных в современной технике. Это объясняется тем, что постоянно усложняются решаемые задачи и одновременно повышаются требования к надежности их выполнения. Инженеры, физики и математики приложили немало совместных усилий для разработки современной теории надежности. Наилучшим методом ее изучения и закрепления теоретических знаний является решение практических задач.

Раздел I. Основные положения, термины и определения. Показатели надежности.

Практическая работа №1

Тема: Определение показателей надежности

Для современных машин и оборудования характерны повышенные нагрузки, скорости, температуры, давления, увеличение степени автоматизации и контроля. При этом наблюдается снижение габаритов и удельной массы машин, повышение КПД, точности выполнения заданных функций. Это приводит к увеличению сложности технических устройств и к необходимости повышения их качества и надежности.

Проблема надежности машин и их узлов приобрела особую значительность вследствие ряда причин.

1. Увеличение сложности современных механических систем.

Системы автоматического управления современными металлургическими и химическими производствами содержат от 70 до 250 тысяч электрических компонентов [1].

2. Усиление интенсивности режимов работы систем и их элементов.

Интенсивность режимов работы характеризуется высокими температурами, давлениями, скоростями, нагрузками. Примером могут служить двигатели внутреннего сгорания. Удельный вес (кг/л.с) и интенсивность режимов за последние 70 лет увеличились в 180 раз.

3. Повышение требований к качеству и точности работы изделий.

На ремонт и восстановление отказавшей техники затрачиваются большие материальные и трудовые ресурсы. Например, в тракторостроении до 75 % производственных мощностей заняты ремонтом техники, на выпуске новой техники работает 25 %. В России на восстановление техники тратится 20 % выплавляемых черных металлов [2].

4. Усиление ответственности выполняемых функций.

Отказы многих механических систем приводят к крупным экономическим потерям, превышающим стоимость отказавшего

оборудования, а иногда и к катастрофам. Полная или частичная автоматизация многих процессов.

Автоматизация предполагает работу машин и оборудования без наблюдения и контроля со стороны человека, а это предъявляет дополнительные требования к их надежности.

Надежности механических предусматривает выбор оптимальных технических решений при проектировании, конструировании, изготовлении, транспортировке, хранении, монтаже, эксплуатации, техобслуживании и ремонте изделий. Она устанавливает и изучает общие принципы и методы оценки надежности, количественные характеристики надежности, исследует связь между показателями экономичности, эффективности и надежности, методы обоснования норм запасных частей.

Надежность механических систем развивается в двух направлениях:

- вероятно-статистическом, основанном на теории вероятности и математической статистике;
- детерминированном, связанном с исследованиями физики отказов механических систем, элементов конструкции, конструкционных материалов.

По первому направлению разработаны математические методы оценки надежности, статистической обработки результатов испытаний, планирования испытаний, контроля и прогнозирования надежности.

По второму направлению изучены механизмы износа, усталостной прочности, коррозии, старения и других физико-химических процессов, оказывающих основное влияние на надежность изделий.

Разработаны методики расчета на прочность и износ.

Одной из основ теории надежности являются результаты исследования износа, старения и изменения свойств материалов элементов изделий при взаимодействии с контактируемой с ними средой (изоляция, смазка, топливо и т. д.), т. е. физическая природа отказов.

Надежность изделия является комплексным свойством. Она характеризуется его безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью.

Требования к надежности изделий определяются в технических заданиях, стандартах, технических условиях на изделия.

Первичные характеристики свойств и состояний изделий, такие как отказ, наработка до отказа, время восстановления работоспособности, имеют случайный характер появления, и получить достоверные количественные показатели свойств надежности изделия можно лишь при большом количестве статистических данных, наблюдая изделие в течение продолжительного времени его эксплуатации. В связи с этим для количественной оценки свойств надежности изделий применяют статистические и вероятностные аспекты, которые и используют для оценки состояния изделия или для прогнозирования его состояния и ресурса.

Задача 1. Определить показатели безотказности шарошечного долота бурового станка ЗСБШ–60–200 и построить графики этих показателей в зависимости от наработки станка при следующих исходных данных:

- количество долот, взятых под наблюдение $N_0 = 30$;
- количество отказавших долот $N_1 = 30$;
- наработки долот, в погонных метрах скважины T_{pi} :
101, 171, 220, 229, 243, 245, 272, 291, 299, 312, 331, 343, 366, 371, 384, 401, 417, 421, 437, 448, 449, 512, 466, 473, 505, 538, 541, 555, 587, 591.

Решение:

Показатели безотказности шарошечных долот (неремонтируемых изделий):

- | | |
|---|---|
| 1) вероятность безотказной работы $P_{(t)}$; | $P_t = \frac{N_t}{N_0};$ |
| 2) средняя наработка до отказа T_o ; | $T_o = \frac{\sum_{i=1}^N t_{pi}}{\sum_{i=1}^N n_i}$ |
| 3) интенсивность отказов $\lambda_{(t)}$; | $\lambda_{(t)} = \frac{\Delta n}{\Delta t \cdot N_{(t)}}$ |

Весь диапазон полученных значений наработки случайных величин t_{pi} разбивается на интервалы. Количество интервалов берется от 5 до 20. Большее число интервалов применяется, когда объем статистического материала превышает 200 значений. Примерная величина интервала определяется по формуле:

$$t_{pi} = t \frac{t_{pmax} - t_{pmin}}{1 + 3,3 \lg n},$$

где t_{pmax} – максимальная величина наработки в выборке;
 t_{pmin} – минимальная величина наработки в выборке; n – количество значений случайной величины в выборке.

$$\Delta t = \frac{591 - 101}{1 + 3,3 \cdot \lg 30} \approx 100$$

Для нашего примера пог. м.

Если при равных интервалах Δt количество значений случайной величины в интервале окажется меньше 3, интервал увеличивается вдвое.

Для каждого интервала Δt подсчитывается Δn : количество значений случайных величин, попавших в i -й интервал; $N(t)$ – количество исправных изделий ко времени t ; $N_{(t+\Delta t)}$ – количество исправных изделий ко времени $t + \Delta t$;

Таблица 1.1

T_{pi}	Δt_i	Δn_i	$N(t)$	$N(t+\Delta t)$	$P(t)$	$\lambda(t)$	T_o
100	0–100	0	30	30	1	0	
200	100–200	2	30	28	0,93	0,00067	341,8
300	200–300	7	28	21	0,70	0,0025	
400	300–400	6	21	15	0,50	0,0029	
500	400–500	8	15	7	0,23	0,0053	
600	500–600	7	7	0	0	0,0100	

Данные заносятся в табл. 1.1.

Значения вероятности безотказной работы и интенсивности отказов в зависимости от наработки представляем в графическом виде. Полученные значения интенсивности проставляются на графике посреди интервала.

Задача №2.

Определить параметр потока отказов трех однотипных машин в межремонтный период и между 5 и 15 сутками наблюдения. Межремонтный период равен 30 суткам.

Наработки между отказами, сут.:

- первая машина – 3, 6, 8, 4, 2, 5;
- вторая машина – 1, 2, 5, 3, 4, 2, 4, 3, 2;
- третья машина – 4, 6, 7, 4, 8;

Решение:

1. Параметр потока отказов в межремонтный период.

Начальный момент времени $t = 0$.

Интервал $\Delta t = 30$ сут.

Параметр потока отказов определяется по формуле

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N n_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N n_i(t)}{N \Delta t}$$

В этом выражении число отказов в момент $t = 0$ для всех трех машин равно 0, т. е. $\sum_{i=1}^N n_i(t) = 0$

Число отказов до наработки $t + \Delta t = 30$ сут. составляет:

- для первой машины $n_1(30) = 6$;
- для второй машины $n_2(30) = 10$; – для третьей машины $n_3(30) = 5$. Параметр потока отказов:

$$\omega(t) = \frac{(6 + 10 + 5) - 0}{3 \cdot 30} = 0,233 \text{ 1/сут.}$$

2. Параметр потока отказов в период между 5 и 15 сутками наблюдения.

Начальный момент времени $t = 5$ сут.

Интервал $\Delta t = 10$ сут.

Число отказов до наработки $t = 5$ сут. равно:

- для первой машины $n_1(5) = 1$;
- для второй машины $n_2(5) = 2$;
- для третьей машины $n_3(5) = 1$.

Число отказов до наработки $t = 15$ сут. соответственно равно:

- для первой машины $n_1(15) = 2$;
- для второй машины $n_2(15) = 5$;
- для третьей машины $n_3(15) = 2$.

Параметр потока отказов в интервале времени между 5 и 15 сутками ($\Delta t=10$ сут.) равен:

$$\omega(t) = \frac{(2+5+2)-(1+2+1)}{3 \times 10} = 0,167 \text{ 1/сут.}$$

Следовательно, машины более надежно работали в интервале

(5 – 15) суток.

Если имеются кривые вероятности $F(x)$ и $P(x)$ можно решать различные практические вопросы. Например, если требуется, чтобы вероятность сохранения работоспособности была не ниже $[P_{(x)}]$, то воспользовавшись графиком можно определить, что наработка при этом не должна превышать X_1 .

Для подсчета вероятности того, что случайная величина, распределенная по нормальному закону, находится в тех или иных пределах, пользуются интегралом:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

$$\text{где } t = \frac{x - mx}{\sigma}; dt = \frac{dx}{\sigma}.$$

Вероятность того, что случайная величина при испытаниях примет значение в пределах от x_1 до x_2 :

$$P(x_1 < x < x_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi\left(\frac{x_2 - mx}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - mx}{\sigma}\right)$$

Табличный интеграл $\Phi(t)$ соответствует площади под кривой, заключенной между осью симметрии и ординатой, соответствующей t .

Например, для $x=3\sigma$ и $t=3$ из таблиц значений интеграла вероятностей $\Phi(t)$ находим, что $\Phi(3)=0,49865$, т. е. $2\Phi(3)=0,997$. Это подтверждает, что с вероятностью 0,997 случайная величина лежит в пределах $\pm 3\sigma$.

Экспоненциальное распределение является распределением времени между независимыми событиями, появляющимися с постоянной интенсивностью. В теории надежности — это распределение описывает появление внезапных, не предсказуемых отказов. Применение экспоненциального закона дает возможность получить результаты, пригодные для оценки надежности вновь разрабатываемых изделий.

Задача № 3

Определить коэффициенты готовности и технического использования экскаватора ЭКГ – 5А в течение календарного года по следующим исходным данным: работа экскаватора двухсменная в рабочие дни, продолжительность смены – 8 ч. Время простоев от аварийных ремонтов в году – 15 смен.

Решение:

Задаемся режимом работы предприятия: работа двухсменная при пятидневной рабочей неделе кроме выходных и праздничных дней, а также дней планово-предупредительных ремонтов и обслуживания.

Коэффициенты определяются по формулам

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{j=1}^m \tau_j},$$
$$K_{\text{тн}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{j=1}^m \tau_j + \sum_{k=1}^r \tau_{\text{ТОиР}}},$$

где $\sum_{i=1}^n t_{pi}$ – суммарное время работы экскаватора в течение года;

$\sum_{i=1}^n t_{pi} = (T_{\text{год}} \frac{16}{24} - \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{j=1}^k T_n + \sum_{k=1}^c T + \sum_{k=1}^r \tau_{\text{ТОиР}}) \cdot K_{\text{и}}$,
где $T_{\text{год}}$ – годовое время в часах (8760); m – количество аварийных простоев в году; $\sum_{i=1}^m \tau_i$ – время аварийных простоев в году в часах (120); $\sum_{j=1}^k T_n$ – время праздничных простоев в году в часах (9·16); k – количество простоев в праздничные дни; $\sum_{k=1}^r T_{\text{ТОТР}}$ – время простоев в выходные дни в году в часах (8760·(2/7)·(16/24)); c – количество простоев в выходные дни в году; $\sum_{k=1}^r T_{\text{ТОиР}}$ – время простоев в году в плановых ремонтах и техобслуживании, в часах (согласно стандартным значениям ППР = 552 ч); r – количество простоев в плановых ремонтах и в ТО; $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования экскаватора в течение смены, $K_{\text{и}} = 0,9$.

Тогда $\sum_{i=1}^n t_{pi} = (5840 - 120 - 144 - 1668 - 552) 0,9 = 3020(\text{ч})$;

$$K_r = \frac{3020}{3020 + 120} = 0,962;$$
$$K_{\text{тн}} = \frac{3020}{3020 + 120 + 552} = 0,818.$$

Раздел II. Элементы математического аппарата теории надежности

Практическая работа № 2

Тема: Определение доверительных интервалов для показателей надежности

В результате хронометражных наблюдений получено 205 случайных значений наработок безотказной работы изделия t_p , час, приведенные в виде статического ряда:

Табл.2.1

1	8	15	23	33	44	61	78	106	106	311
2	8	16	24	33	45	61	79	108	108	322
3	8	16	24	34	45	61	79	112	112	343
3	8	17	24	35	46	64	79	114	114	361
4	9	18	25	35	47	65	80	114	114	370
4	9	18	26	35	47	65	82	118	118	
5	9	18	26	36	47	66	84	119	119	
5	9	18	27	37	48	67	84	121	119	
								Прод.	табл.	2.1
5	10	19	27	38	48	67	86	132	121	
6	11	19	27	38	49	68	88	138	132	
6	12	20	28	39	50	70	88	141	138	
6	12	20	29	40	51	70	90	143	141	
6	12	20	29	40	52	72	91	147	143	
6	13	20	29	41	52	74	93	149	138	
7	13	20	29	42	53	74	93	150	141	
7	14	20	30	42	55	74	95	159	143	
7	14	20	30	42	56	76	97	162	147	
7	14	21	30	43	56	76	98	164	149	
8	14	21	30	43	60	77	99	172	159	
8	14	22	31	44		77	99	175	162	

Диапазон полученных значений ($n = 205$) случайных величин t_p разбивается на интервалы. Примерная величина интервала определяется по формуле

$$\Delta t_p = \frac{t_{p\max} - t_{p\min}}{1 + 3,3 \lg n}.$$

Если при равных интервалах, полученных по приведенной выше формуле, количество значений наработки оказывается меньше 5, принимаются увеличенные интервалы различной длины.

Для каждого интервала подсчитываются сводятся в табл. 1.

$$n_i; \frac{n_i}{n}; \sum \frac{n_i}{n}; \frac{n_i}{n \cdot \Delta t_p} \text{ и}$$

Таблица 2.2

Интервал $\Delta t_p, \text{ч}$	n_i ($\sum n_i = 205$)	$\frac{n_i}{n}$	$\sum \frac{n_i}{n}$	$\frac{n_i}{n \cdot \Delta t_p} = f(t)$
0–10	29	0,1415	0,1415	0,01415
10–20	28	0,1366	0,2781	0,01366
20–30	21	0,1024	0,3805	0,01024
30–50	34	0,1658	0,5463	0,00829
50–80	33	0,1610	0,7073	0,00537
30–110	17	0,0829	0,7902	0,00276
110–150	13	0,0634	0,8536	0,00159
150–190	11	0,0537	0,9073	0,00134
190–250	11	0,0537	0,9610	0,00097
250–370	8	0,0390	1,000	0,00032

На основании табл. 1 находится статистическое среднее m_{cp} и статистическую дисперсию D_{cp} :

$$m_{cp} = \sum_{i=1}^k t_{pi} \cdot \frac{n_i}{n},$$

где t_{pi} – представитель i -го интервала (его середина); k – число интервалов;

$$m_{cp} = 5 \cdot 0,1415 + 15 \cdot 0,1366 + 25 \cdot 0,1024 + 40 \cdot 0,1610 + 95 \cdot 0,0829 + 130 \cdot 0,0634 + 170 \cdot 0,0537 + 220 \cdot 0,0537 + 310 \cdot 0,0390 = 74 \text{ч};$$

$$D_{cp} = \sum_{i=1}^k (t_{pi} - m_{cp})^2 \frac{n_i}{n} = (5-74)^2 \cdot 0,1415 + (15-74)^2 \cdot 0,1366 + (25-74)^2 \cdot 0,1024 + (40-74)^2 \cdot 0,1658 + (65-74)^2 \cdot 0,1610 + (95-74)^2 \cdot 0,0829 + (130-74)^2 \cdot 0,0634 + (170-74)^2 \cdot 0,0537 + (220-74)^2 \cdot 0,0537 + (310-74)^2 \cdot 0,0396 = 5644.$$

Полученное статистическое $m_{cp} = 74$ ч является оценкой наработки изделия на отказ и определяется по формуле $T = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{n} = 74$ ч. n

По данным табл. 1 строят гистограмму значений плотности вероятности от времени и выравнивающую кривую эксплуатационного закона распределения времени безотказной работы изделия.

По оси абсцисс откладывают интервалы t_p и на каждом из них строят прямоугольник с площадью, равной частоте появления случайной величине наработки в данном интервале. Высота прямоугольника пропорциональна соответствующим частотам и равна эмпирической плотности вероятности $\frac{n_i}{n \cdot \Delta t_p}$ для каждого интервала.

По характеру гистограммы предполагается экспоненциальный закон распределения наработок на отказ. Среднеквадратичное отклонение

$$\overline{\sigma}_{sp} = \sqrt{\overline{D}_{sp}} = \sqrt{5644} = 75(\text{ч}),$$

что соответствует коэффициенту вариации $V=1$, свидетельствующему экспоненциальному распределению случайных величин.

Практическая работа №3

Тема: Определение требуемого уровня надежности проектируемого изделия

Задачи, которые встречаются при определении количественных характеристик надежности, могут быть разделены на следующие группы:

- 1) определение количественных характеристик надежности по статистическим данным об отказах изделия;
- 2) определение количественных характеристик надежности изделия при известной математической модели надежности.

В настоящей главе при определении количественных

характеристик надежности технических устройств по статистическим данным об их отказах не учитывается достоверность полученных результатов.

Кроме того, следует иметь в виду, что частота, интенсивность и параметр потока отказов, вычисленные по формулам (1.3), (1.5), (1.12) являются постоянными в диапазоне интервала Δt , а функции $\alpha(t)$, $\lambda(t)$, $\omega(t)$ — ступенчатыми кривыми или гисто-граммами. Для удобства изложения в дальнейшем при решении задач на определение частоты, интенсивности и параметра потока отказов по статистическим данным об отказах изделий ответы относятся к середине интервала Δt . При этом результаты вычислений графически представляются не в виде гистограмм, а в виде точек, отнесенных к середине интервалов Δt и соединенных плавной кривой.

Рассмотрим типовые примеры.

Пример 1. На испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп. За 3000 ч отказало 80 ламп. Требуется определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа электронных ламп в течение 3000 ч.

Решение: По формулам (1.1) и (1.2) определяем

$$\tilde{P}(3000) = \frac{N_o - n(t)}{N_o} = \frac{1000 - 80}{1000} = 0,92;$$

$$\tilde{Q}(3000) = \frac{n(t)}{N_o} = \frac{80}{1000} = 0,08$$

или

$$Q(3000) = 1 - P(t) = 1 - 0,92 = 0,08.$$

Пример 2. На испытание поставлено 1000 однотипных ламп. За первые 3000 ч работы отказало 80 ламп, а за интервал 3000–4000 ч отказало еще 50 ламп. Определить частоту и интенсивность отказов электронных ламп в промежутке 3000–4000 ч работы.

Решение: По формуле (1.3) определим частоту отказов

$$\tilde{\alpha}(3500) = \frac{n(\Delta t)}{N_o \Delta t} = \frac{50}{1000 \cdot 1000} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ (1/ч)}.$$

Определим среднее число исправно работающих изделий в интервале Δt .

$$N_{\text{cp}} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2} = \frac{920 + 870}{2} = 895 \text{ (шт.)}.$$

По формуле (1.5) находим интенсивность отказов

$$\tilde{\lambda}(3500) = \frac{n(\Delta t)}{N_{\text{cp}} \Delta t} = \frac{50}{895 \cdot 1000} = 5,6 \cdot 10^{-5} \text{ (1/ч)}.$$

Пример 3. На испытании находилось 1000 образцов неремонтируемой аппаратуры. Число отказов $n(\Delta t)$ фиксировалось через каждые 100ч работы ($\Delta t=100$ ч). Данные об отказах приведены в табл. 1.1. Требуется вычислить количественные характеристики и построить зависимость характеристик от времени.

Решение: Аппаратура относится к классу невосстанавливаемых изделий. Поэтому показателями надежности будут $P(t)$, $\alpha(t)$, $\lambda(t)$, T

Вычислим $P(t)$. На основании формулы (1.1) имеем

$$\tilde{P}(100) = \frac{N_o - n(100)}{N_o} = \frac{1000 - 50}{1000} = 0,95,$$

$$\tilde{P}(200) = \frac{N_o - n(200)}{N_o} = \frac{1000 - 90}{1000} = 0,91,$$

$$\tilde{P}(3000) = \frac{N_o - n(3000)}{N_o} = \frac{1000 - 575}{1000} = 0,425.$$

Значения $P(t)$, $\alpha(t)$, $\lambda(t)$, вычисленные для всех Δt , приведены в табл. 1.1, а их зависимости от времени на рис. 1.1 и 1.2. Вычислим среднее время безотказной работы, предположив, что на испытании находились только те образцы, которые отказали.

Таблица 2.3

Данные об отказах к примеру 3

Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$	Δt_i , ч	$n(\Delta t_i)$
0–100	50	1000–1100	15	2000–2100	12
100–200	40	1100–1200	14	2100–2200	13
200–300	32	1200–1300	14	2200–2300	12
300–400	25	1300–1400	13	2300–2400	13
400–500	20	1400–1500	14	2400–2500	14
500–600	17	1500–1600	13	2500–2600	16
600–700	16	1600–1700	13	2600–2700	20
700–800	16	1700–1800	13	2700–2800	25
800–900	15	1800–1900	14	2800–2900	30
900–1000	14	1900–2000	12	2900–3000	40

Расчет проведем, используя формулу (1.11), учитывая, что

$$m = \frac{t_n}{\Delta t} = \frac{3000}{100} = 30 \text{ и } N_0 = 575, \text{ имеем}$$

$$\bar{T}_0 = \frac{\sum_{i=1}^m n_i t_{\text{ср}i}}{N_0} = \frac{50 \cdot 50 + 40 \cdot 150 + 32 \cdot 250 + \dots + 30 \cdot 2850 + 40 \cdot 2950}{575} = 1400 \text{ (ч)}.$$

Полученное значение средней наработки до первого отказа является заниженным, так как опыт был прекращен после отказа 575 образцов из 1000, поставленных на испытание.

Пример 4. В течение некоторого периода времени производилось наблюдение за работой одного экземпляра изделия. За весь период наблюдения было зафиксировано 15 отказов. До начала наблюдения и проработала 258 часов, а к концу наблюдения наработка станции составила 1233 часа. Требуется определить среднюю наработку на отказ T .

Решение: Нароботка изделия за наблюдаемый период равна

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

Принимая $\sum t_i = 975$ ч, по формуле (1.13) находим среднюю наработку на отказ:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{975}{15} = 65 \text{ (ч)}.$$

Пример 5. Производилось наблюдение за работой трех экземпляров однотипной аппаратуры. За период наблюдения было зафиксировано по первому экземпляру 6 отказов, по второму и третьему — 11 и 8 отказов соответственно. Нарботка первого экземпляра составила 181ч, второго—329 ч и третьего 245 ч. Требуется определить наработку аппаратуры на отказ T .

Решение: Определим суммарную наработку трех образцов аппаратуры:

$$t_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij} = 181 + 329 + 245 = 755 \text{ (ч)}.$$

Определим суммарное количество отказов:

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

Находим среднюю наработку на отказ по формуле (1.14)

$$\bar{T} = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{ij}}{\sum_{j=1}^N n_j} = \frac{t_{\Sigma}}{n_{\Sigma}} = \frac{755}{25} = 30,2 \text{ (ч)}.$$

Пример 6. Система состоит из 5 приборов, причем отказ любого одного из них ведет к отказу системы. Известно, что первый прибор отказал 34 раза в течение 952 ч работы, второй—24 раза в течение 960 ч работы, а остальные приборы в течение 210 часов работы отказали 4, 6 и 5 раз соответственно. Требуется определить наработку до отказа системы в целом, если справедлив экспоненциальный закон надежности для каждого из пяти приборов.

Решение: Для решения данной задачи воспользуемся следующими соотношениями:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad \bar{T}_O = \frac{1}{\lambda_c}.$$

$$\tilde{\lambda}_1 = \frac{34}{952} = 0,0357 \text{ (1/ч)}, \quad \tilde{\lambda}_2 = \frac{24}{960} = 0,025 \text{ (1/ч)},$$

$$\tilde{\lambda}_{3,4,5} = \frac{4+6+5}{210} = 0,0714 \text{ (1/ч)}.$$

Определим интенсивность отказов для каждого прибора:

Интенсивность отказов системы равна

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \tilde{\lambda}_1 + \tilde{\lambda}_2 + \tilde{\lambda}_{3,4,5} = 0,0357 + 0,025 + 0,0714 = 0,1321 \text{ (1/ч)}.$$

Средняя наработка до отказа системы

$$\bar{T}_O = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,1321} = 7,57 \text{ (ч)}.$$

Пример 7. За наблюдаемый период эксплуатации аппаратуре было зафиксировано 8 отказов. Время восстановления составило $t_1=12$ мин, $t_2=23$ мин, $t_3=15$ мин, $t_4=9$ мин, $t_5=17$ мин, $t_6=28$ мин, $t_7=25$ мин, $t_8=31$ мин. Определить среднее время восстановления аппаратуры T .

Решение:

$$\tilde{T}_B = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} t_i}{n_i} = \frac{\sum_{i=1}^8 t_i}{8} = \frac{600}{8} = 75 \text{ (мин)}.$$

Пример 8. Аппаратура имела среднюю наработку на отказ 65 ч и среднее время восстановления 1,25 ч. Требуется определить коэффициент готовности.

Решение: По формуле (1.17) имеем

$$K_r = \frac{T}{T + T_B} = \frac{65}{65 + 1,25} = 0,98.$$

Пример 9. Пусть время работы элемента до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с параметром $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-5}$ 1/ч.

Требуется вычислить количественные характеристики надежности элемента $P(t)$, $\alpha(t)$, T_0 , если $t = 500, 1000, 2000$ ч.

Решение: Используем формулы в табл. 1.1. $P(t)$, $\alpha(t)$ и T_0 .

Вычислим вероятность безотказной работы:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot t};$$

$$P(500) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 500} = 0,9875;$$

$$P(1000) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000} = 0,9753;$$

$$P(2000) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2000} = 0,9512.$$

Вычислим частоту отказа:

$$\alpha(t) = \lambda(t) \cdot P(t) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot t}.$$

$$\alpha(500) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 500} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,9875 = 2,469 \cdot 10^{-5} \text{ (1/ч);}$$

$$\alpha(1000) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,9753 = 2,439 \cdot 10^{-5} \text{ (1/ч);}$$

$$\alpha(2000) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2000} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,9512 = 2,378 \cdot 10^{-5} \text{ (1/ч).}$$

Вычислим среднюю наработку до первого отказа:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 40000 \text{ (ч).}$$

Пример 10. При эксплуатации системы было зарегистрировано $n = 40$ отказов. Распределение отказов по группам элементов и время, затраченное на восстановление, приведены в табл. 1.4. Необходимо найти величину среднего времени восстановления системы.

Решение: Определяем среднее время восстановления аппаратуры по группам элементов.

Для полупроводниковых приборов:

$$\bar{T}_B = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} t_i}{n_i} = \frac{\sum_{i=1}^8 t_i}{8} = \frac{600}{8} = 75 \text{ (мин).}$$

Аналогично:

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

Рассчитаем среднее время восстановления системы по формуле:

$$T_{BC} = \sum_{i=1}^m (P_i \cdot t_{Bi})$$

где t_{Bi} — среднее время восстановления элементов i -й группы;

m_i — вес отказов по группам элементов.

$$T_{BC} = 0,2 \cdot 75 + 0,25 \cdot 7600,1 \cdot 113 + 0,35 \cdot 50 + 0,1 \cdot 120 = 74,8 \text{ мин.}$$

Практическая работа №4

Тема: Расчет количественных показателей надежности

1. На испытание поставлено 400 изделий. За время $t = 3000$ ч отказало 200 изделий, за интервал времени $\Delta t = 100$ ч отказало 100 изделий. Требуется определить вероятность безотказной работы за 3000 ч, 3100 ч, 3050 ч; частоту отказов интенсивность отказов за 3050 ч.

Ответ: $P(3000) = 0,5$; $P(3100) = 0,25$; $P(3050) = 0,375$;

$$P(3050) = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч};$$

$$P(3050) = 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч.}$$

2. В течение 1000 ч из 10 гироскопов отказало 2. За интервал времени 1000 — 1100 ч отказал еще один гироскоп. Требуется найти частоту и интенсивность отказов гироскопов в промежутке времени 1000 — 1100 ч.

Ответ: $\tilde{\alpha}(1050) = 10^{-3} \text{ 1/ч}$, $\lambda(1050) = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч.}$

а. Система состоит из трех приборов A , B и C . На испытание было поставлено 100 приборов каждого типа. За 100 ч работы приборы типа A отказали 10 шт., приборы типа B — 20 шт. и приборы C — 50 шт.

Определить вероятность безотказной работы каждого

прибора, частоту отказов и интенсивность отказов.

Ответ: $P_A(100)=0,9$; $P_B(100)=0,8$; $P_C(100)=0,5$;

$\alpha_A(50)=10^{-3} \text{ 1/ч}$; $\tilde{\alpha}_B(50)=2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}$; $\tilde{\alpha}_C(50)=5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}$;

$\tilde{\alpha}(50)=1,05 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}$; $\tilde{\alpha}_B(50)=2,2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}$; $\tilde{\alpha}_C(50) \square 6,67 \cdot 10^{-3} \text{ 1/ч}$.

б. Работающее на дистанции устройство содержит 1600 элементов (реле, резисторы, конденсаторы, трансформаторы и другие). Фиксировались отказы через каждые 100 часов работы. Данные об отказах приведены в табл. 1.2.

Таблица 2.4

Исходные данные к задаче 2

$\Delta t_i, \text{ ч}$	$n(\Delta t_i)$	$\Delta t_i, \text{ ч}$	$n(\Delta t_i)$
0–100	45	800–900	16
100–200	40	900–1000	16
200–300	35	1000–1100	15
300–400	32	1100–1200	14
400–500	28	1200–1300	15
500–600	25	1300–1400	13
600–700	20	1400–1500	14
700–800	17	1500–1600	13

Необходимо определить параметры надежности: вероятность безотказной работы, вероятность отказа, частоту отказов, интенсивность отказов, среднее время наработки до отказа. Построить график зависимости вероятности безотказной работы от времени.

Ответ: $\tilde{P}(t)$, $\tilde{\alpha}(t)$, $\tilde{\lambda}(t)$ см.табл. 1.5 и рис. 1.5, $\tilde{T}=575,42\text{ч}$.

Таблица 2.5

Вычисленные значения $\tilde{P}(t)$, $\tilde{\alpha}(t)$, $\tilde{\lambda}(t)$ к задаче 4

$\Delta t_i, \text{ ч}$	$\tilde{P}(t)$	$\tilde{\alpha}(t) \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$	$\tilde{\lambda}(t) \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч}$
0–100	0,97	2,81	2,8
100–200	0,947	2,5	2,61
200–300	0,925	2,19	2,34
300–400	0,905	2	2,186
400–500	0,8875	1,75	1,95
500–600	0,872	1,56	1,776

600–700	0,859	1,25	1,444
700–800	0,849	1,06	1,244
800–900	0,839	1	1,185
900–1000	0,829	1	1,199
1000–1100	0,819	0,94	1,138
1100–1200	0,811	0,875	1,074
1200–1300	0,801	0,94	1,163
1300–1400	0,793	0,813	1,019
1400–1500	0,784	0,875	1,109
1500–1600	0,776	0,813	1,041

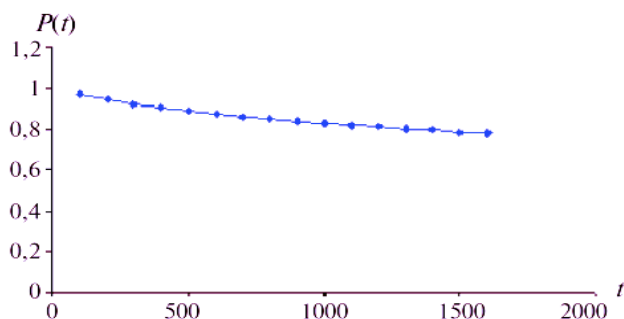


Рис. 1.5. Зависимость P от t (к задаче 1.4)

с. Имеются статистические данные об отказах трех групп одинаковых изделий, приведенные в табл. 1.7. В каждой группе было по 100 изделий и их испытания проводились по 1 группе 550 ч, по 2 группе 400 ч, по 3 группе 200 ч. Необходимо вычислить количественные характеристики и построить графики этих функций.

1.6–1.9. В течение времени t проводилось наблюдение за восстанавливаемым изделием, и было зафиксировано $n(t)$ отказов. До начала наблюдения изделие проработало t за 1ч, общее время наработки к концу наблюдения составило t ч. Требуется найти наработку на отказ T .

Таблица 2.6

Исходные данные к задаче 1.7

Δt_i , ч	1 группа $n(\Delta t_i)$	2 группа $n(\Delta t_i)$	3 группа $n(\Delta t_i)$	$\Delta n(t_i)$
0–25	4	6	5	15
25–50	8	9	8	25
50–75	6	5	7	18
75–100	3	4	5	12
100–150	5	5	6	16
150–200	4	3	3	10
200–250	1	3	—	4
250–300	2	2	—	4
300–400	3	4	—	7
400–550	5	—	—	5

Ответ: $\tilde{P}(t)$, $\tilde{\alpha}(t)$, $\tilde{\lambda}(t)$ см. табл. 1.7. и рис. 1.5 и 1.6.

Таблица 2.7

Вычисленные значения $\tilde{P}(t)$, $\tilde{\alpha}(t)$, $\tilde{\lambda}(t)$ к задаче 1.5

Δt_i , ч	$\tilde{P}(t)$	$\tilde{\alpha}(t) \cdot 10^{-3} 1/\text{ч}$	$\tilde{\lambda}(t) \cdot 10^{-3} 1/\text{ч}$
0–25	0,95	2	2,05
25–50	0,867	3,3	3,67
50–75	0,807	2,4	2,87
75–100	0,767	1,6	2,03
100–150	0,713	1,1	1,44
150–200	0,68	0,67	0,957
200–250	0,67	0,4	0,588
250–300	0,65	0,4	0,606
300–400	0,615	0,35	0,558
400–550	0,59	0,33	0,542

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.8

Исходные данные и ответы к задачам 1.6–1.9

Номер задачи	Исходные данные			Ответ T , ч
	t_1 , ч	t_1 , ч	$N(\Delta t)$	
1.6	350	1280	15	62
1.7	400	1600	3	400
1.8	1000	6400	9	600
1.9	770	4800	7	575

1.10–1.13. В течение некоторого времени проводилось наблюдение за работой N_0 экземпляров восстанавливаемых изделий. Каждый из образцов проработал t_i ч и имел n_i отказов.

Требуется определить наработку на отказ T по данным наблюдения за работой всех изделий.

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл.1.10.

Таблица 2.9

Исходные данные и ответы к задачам 1.10–1.13

Номер задачи	Исходные данные										Ответ T , ч
	n_1	t_1 , ч	n_2	t_2 , ч	n_3	t_3 , ч	n_4	t_4 , ч	n_5	t_5 , ч	
1.10	1	300	3	600	2	400	—	—	—	—	216
1.11	3	90	6	270	4	140	5	230	3	180	43
1.12	12	960	15	1112	8	808	7	1490	—	—	104
1.13	8	144	5	150	4	112	8	216	—	—	26

1.14–1.17. Изделие состоит из k групп элементов. В процессе эксплуатации зафиксировано n отказов. Количество отказов в j -й группе равно n_j ; среднее время восстановления элементов j -й группы равно t_j мин. Требуется вычислить среднее время восстановления аппаратуры T .

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл. 1.8.

Таблица 2.10

Исходные данные и ответы к задачам 1.14–1.17

Номер задачи	Исходные данные												Ответ $T_{\text{в}}$, ч
	k	n	n	t	n	t	n	t	n	t	n	t	
1.14	5	12	1	20	4	20	3	16	2	36	2	40	28,3
1.15	5	40	5	15	8	25	12	60	6	40	9	20	35,4
1.16	4	9	2	37	1	480	2	60	4	25	—	—	86
1.17	5	18	3	72	5	40	4	36	2	120	4	60	57,8

1.18–1.21. Изделие имеет среднюю наработку на отказ T_u , среднее время восстановления $T_{\text{в}}$. Необходимо определить коэффициент готовности изделия.

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в таблице 2.11

Таблица 2.11

Исходные данные и ответы к задачам 1.18–1.21

Номер задачи	Исходные данные		Ответ K_{Γ}
	T , ч	$T_{\text{в}}$, ч	
1.18	230	12	0,95
1.19	556	23	0,96
1.20	556	2,5	0,995
1.21	430	8	0,98

1.22. Интенсивность отказов изделия $\lambda=0,82 \cdot 10^{-3} 1/\text{ч} = \text{const}$. Необходимо найти вероятность безотказной работы в течение 6 ч полета самолета $P(6)$, частоту отказов $\alpha(100)$ при $t=100$ ч и среднюю наработку до первого отказа T_0 .

Ответ: $P(6)=0,995$, $\alpha(100)=0,75 \cdot 10^{-3} 1/\text{ч}$, 1220 ч. вероятность безотказной работы автоматической линии изготовления цилиндров автомобильного двигателя в течение

120 ч равна 0,9. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется рассчитать интенсивность отказов и частоту отказов линии для момента времени 120 ч.

Ответ: $\lambda=0,83 \cdot 10^{-3}$ 1/ч, $\alpha(120)=0,747 \cdot 10^{-3}$ 1/ч.

1.23. При эксплуатации системы автоматики было зафиксировано $n=20$ отказов в течение 350 часов. При этом распределение отказов отдельных элементов системы и время, затраченное на их устранение (время восстановления), приведено в табл. 1.10. Необходимо определить среднее время восстановления и коэффициент готовности системы.

Ответ: $T_0=0,38$ ч, $K=0,9989$.

1.24. Определить количественные характеристики надежности $p(t)$, $\alpha(t)$, $\lambda(t)$ и T_0 интегральных микросхем для времени их работы $t=500, 1000, 2000$ ч при условии, что параметр распределения $t=1000$ ч, время работы ИМС до отказа подчиняется закону распределения Рэлея.

Ответ: Результаты расчетов приведены в табл.1.10.

Таблица 2.12

Исходные данные к задаче 1.24

Элементы	Количество отказов, n_i	Вес отказов по группе, $m = n_i/n$	Время восстановления, t , мин	Суммарное время восстановления по группе, t_i , мин
Полупроводниковые приборы	5	0,25	80 20 22 18 23	163
Реле	2	0,1	10 12	22
Резисторы (конденсаторы)	10	0,5	—	230
Пайка	3	0,15	—	42

Раздел III. Надежность невосстанавливаемых изделий при основном соединении элементов.

Практическая работа №5

Тема: Определение интенсивности отказов системы

Пример 1. Система состоит из 12600 элементов. Интенсивность отказа элемента $\lambda = 0,32 \cdot 10^{-6}$ 1/ч.

Необходимо определить вероятность безотказной работы систем в течение времени $t = 50$ ч.

Решение: Интенсивность отказов системы по формуле (2.3) равна:

$$\lambda_c = \lambda \cdot N = 0,32 \cdot 10^{-6} \cdot 12600 = 4,032 \cdot 10^{-3} \text{ (1/ч)}.$$

Тогда на основании (2.2)

$$P(50) = e^{-\lambda_c t} = e^{-4,032 \cdot 10^{-3} \cdot 50} = 0,82.$$

Пример 2. Используя данные примера 2.1, вычислить среднюю наработку до первого отказа системы.

Решение: Средняя наработка до первого отказа системы $T_{o.c}$ вычисляется по формуле (2.2). Подставляя в формулу значение λ_c из примера 2.1, получим

$$\bar{T}_{o.c} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{4,032 \cdot 10^{-3}} = 250 \text{ (ч)}.$$

Пример 3. Система состоит из трех блоков, средняя наработка до первого отказа которых равна $T_1 = 160$ ч, $T_2 = 320$ ч, $T_3 = 600$ ч. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить среднюю наработку до первого отказа системы.

Решение: Воспользуемся формулой (2.2) для средней наработки до первого отказа системы. В нашем случае интенсивность отказов системы равна:

$$\lambda_c = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_3} = \frac{1}{160} + \frac{1}{320} + \frac{1}{600} = 0,011 \text{ (1/ч)}.$$

$$T_{o.c} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,011} = 91 \text{ (ч)}.$$

Пример 4. Система состоит из двух устройств. Вероятности безотказной работы каждого из них в течение времени $t=100$ ч. равны: $p_1(100) = 0,95$; $p_2(100) = 0,97$. Справедлив экспоненциальный закон распределения надежности. Необходимо найти среднюю наработку до первого отказа системы.

Решение: Найдем вероятность безотказной работы системы по формуле (2.1)

$$P_c(t) = p_1(t) \cdot p_2(t).$$

$$\text{Отсюда } P_c(100) = p_1(100) \cdot p_2(100) = 0,95 \cdot 0,97 = 0,92.$$

Найдем интенсивность отказов системы, воспользовавшись формулой:

$$P_c(100) = 0,92 = e^{-\lambda_c t} = e^{-\lambda_c \cdot 100}.$$

Из этого выражения найдем $\lambda_c \cdot 100$.

$$\lambda_c \cdot 100 = \ln 0,92 \approx -0,083 \text{ или } \lambda = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ (1/ч)}.$$

Среднее время наработки до первого отказа

$$T_{o.c.} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,83 \cdot 10^{-3}} = 1200 \text{ (ч)}.$$

Пример 5. Вероятность безотказной работы одного элемента в течение времени t равна $p(t) = 0,9997$. Требуется определить вероятность безотказной работы системы, состоящей из $N = 100$ таких элементов.

Решение: Вероятность безотказной работы системы равна $P(t) = p^N(t) = (0,9997)^{100}$.

Вероятность $p(t)$ близка к единице, поэтому для вычисления вероятности безотказной работы системы воспользуемся формулой (2.5).

$$\text{В нашем случае } q(t) = 1 - p(t) = 1 - 0,9997 = 0,0003.$$

Тогда вероятность безотказной работы системы

$$P_c(t) = 1 - Nq(t) = 1 - 100 \cdot 0,0003 = 0,97.$$

Пример 6. Вероятность безотказной работы системы в

течение времени травна $P_C(t) = 0,95$. Система состоит из $N=120$ равнонадежных элементов. Необходимо найти вероятность безотказной работы элемента.

Решение: Вероятность безотказной работы элемента будет равна:

$$p_i(t) = \sqrt[N]{P_C(t)}$$

Так как вероятность безотказной работы системы близка к единице, то вычисления $p(t)$ удобно выполнить по формуле (2.5). Для нашего случая

$$Q_C(t)=1-P_C(t)=1-0,95=0,05.$$

Тогда

$$p(t) = \sqrt[N]{P_C(t)} = 1 - \frac{Q_C(t)}{N} = \frac{0,05}{120} = 0,9996.$$

Пример 7. Система состоит из пяти приборов, вероятность исправной работы которых в течение времени $t=100$ ч равны: $p_1(100)=0,9996$; $p_2(100)=0,9998$; $p_3(100)=0,9996$; $p_4(100)=0,999$; $p_5(100)=0,9998$.

Требуется определить частоту отказов системы в момент времени $t=100$ ч.

Предполагается, что отказы приборов независимы и для них справедлив экспоненциальный закон распределения надежности.

Решение: По условию задачи отказы приборов независимы, поэтому вероятность безотказной работы системы равна произведению вероятностей безотказной работы приборов. Тогда по формуле (2.5) для случая высоконадежных систем имеем:

$$P_C(t) = 1 - \sum_{i=1} q_i(t)$$

Определим вероятность отказа каждого блока:

$$q_1(100)=1-p_1(100)=1-0,9996=0,0004,$$

$$q_2(100)=1-p_2(100)=1-0,9998=0,0002,$$

$$q_3(100)=1-p_3(100)=1-0,9996=0,0004,$$

$$q_4(100)=1-p_4(100)=1-0,999=0,001,$$

$$q_5(100) = 1 - p_5(100) = 1 - 0,9998 = 0,0002.$$

Тогда:

$$P_c(100) = 1 - (0,0004 + 0,0002 + 0,0004 + 0,001 + 0,0002) = 0,9978.$$

Так как вероятность безотказной работы системы близка к единице, то в соответствии с формулой (2.4) для $P_c(t)$ интенсивность отказов системы можно вычислить из выражения:

$$P_c(t) = 1 - \lambda_c t,$$

Отсюда подставляя значения $P_c(100)$ и время $t = 100$ ч, получим:

$$\lambda_c = (1 - 0,9978) / 100 = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ (1/ч).}$$

Тогда частота отказов в соответствии с формулой (2.4) будет:

$$a(t) \approx \lambda (1 - \lambda t) = 2,2 \cdot 10^{-5} (1 - 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot 100) = 2,195 \cdot 10^{-5} \text{ (1/ч).}$$

Пример 8. Все элементы электронного усилителя работают в нормальный период эксплуатации, т.е. $\lambda = \text{const}$. Усилитель должен непрерывно работать в течение 10ч. Из схемы известно, что усилитель состоит из 2 ламп, 8 резисторов и 6 конденсаторов. Интенсивность отказов всех элементов указана в табл.2.1.

Требуется рассчитать вероятность безотказной работы системы $P_c(t)$ и среднюю наработку до первого отказа $T_{0.c}$.

Решение: Для выполнения ориентировочного расчета надежности усилителя рассчитаем интенсивность отказов компонентов по группам, и рассчитанные значения занесем в табл. 2.8.

Интенсивность отказов усилителя рассчитаем по формуле (2.3):

$$\begin{aligned} \lambda_c &= (0,18 + 0,24 + 0,2 + 0,2 + 0,06 + 0,26 + 0,18 + 18) \cdot 10^{-5} = \\ &= 19,32 \cdot 10^{-5} \text{ (1/ч);} \end{aligned}$$

Таблица 3.1

Таблица расчета интенсивности отказов к примеру 2.8

Наименование и тип элемента	Обозначение по схеме	Количество элементов N_i	Интенсивность отказов	Интенсивность отказов N
Резистор	R_1, R_2	2	0,09	0,18
Резистор	R_3, R_4	2	0,12	0,24
Резистор	R_5, R_6	2	0,10	0,20
Резистор	R_7, R_8	2	0,10	0,20
Конденсатор	C_1, C_2	2	0,03	0,06
Конденсатор	C_3, C_4	2	0,13	0,26
Конденсатор	C_5, C_6	2	0,09	0,18
Лампы	L_1, L_2	2	9	18

Пример 9. Изделие состоит из $N=3$ групп приборов. Отказы первой группы подчинены экспоненциальному закону надежности с интенсивностью отказов $\lambda=0,2 \cdot 10^{-3}$ 1/ч. Отказы приборов второй группы закону Рэлея с параметром $\sigma=1000$ и отказы приборов третьей группы закону Вейбулла с параметрами $\lambda=0,1 \cdot 10^{-4}$ 1/ч и $k=1,5$. Требуется определить вероятность безотказной работы изделия в течение времени $t=500$ часов.

Решение. Найдем вероятность безотказной работы каждой группы приборов за время $t=500$ часов.

$$P_1(500) = e^{-\lambda t} = e^{-0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 500} = 0,905;$$

$$P_2(500) = e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} = e^{-\frac{(500)^2}{2 \cdot (1000)^2}} = 0,883;$$

$$P_3(500) = e^{-\lambda_0 t^k} = e^{-0,1 \cdot 10^{-4} \cdot 500^{1,5}} = 0,895.$$

$$P_C(500) = P_1(500) \cdot P_2(500) \cdot P_3(500) = 0,716.$$

Практическая работа №6.

Тема: Определение вероятности безотказной работы изделия

1. Аппаратура состоит из 2000 элементов, интенсивность отказов которых $\lambda=0,33 \cdot 10^{-5}$ 1/ч. Необходимо определить вероятность безотказной работы аппаратуры в течение времени $t=200$ часов и среднюю наработку до первого отказа. Для элементов справедлив экспоненциальный закон надежности.

Ответ: $P_A(200) = 0,27$; $T_{O.A} = 151,5$ ч.

2. Система управления состоит из 6000 элементов, интенсивность отказов которых $\lambda=0,16 \cdot 10^{-6}$ (1/ч). Необходимо определить вероятность безотказной работы в течение времени $t=50$ часов и среднюю наработку до первого отказа. Для элементов справедлив экспоненциальный закон надежности.

Ответ: $P_C(50) = 0,953$; $T_{O.C} = 1040$ ч.

а. Невосстанавливаемая в процессе работы изделие сантиметрового диапазона состоит из 1000 элементов. Требуемое время непрерывной работы $t=200$ часов. Определить вероятность безотказной работы и среднюю наработку до первого отказа, если $\lambda=\text{const}=0,1 \cdot 10^{-5}$ (1/ч.)

Ответ: $P_A(200) = 0,82$; $T_{O.A} = 1000$ ч.

б. Прибор состоит из $N=5$ узлов. Надежность узлов характеризуется вероятностью безотказной работы в течение времени t , которая равна: $p_1(t) = 0,98$; $p_2(t) = 0,99$; $p_3(t) = 0,998$; $p_4(t) = 0,975$; $p_5(t) = 0,985$.

Необходимо определить вероятность безотказной работы прибора.

Ответ: $P_{np}(t) = 0,93$.

с. Изделие включает четыре устройства, надежность которых характеризуется вероятностью безотказной работы в течение времени t , равной: $p_1(t) = 0,94$; $p_2(t) = 0,95$; $p_3(t) = 0,97$; $p_4(t) = 0,945$.

Необходимо определить вероятность безотказной

работы изделия.

Ответ: $P_{\text{изд}}(t) = 0,819$.

d. Комплекс состоит из $N = 3$ систем. Надежность отдельных систем характеризуется вероятностью безотказной работы в течение времени t , которая равна: $p_1(t) = 0,78$; $p_2(t) = 0,93$; $p_3(t) = 0,82$.

Необходимо определить вероятность безотказной работы комплекса.

Ответ: $P_K(t) = 0,595$.

1. Изделие состоит из N групп приборов. Отказы первой группы подчинены экспоненциальному закону надежности с интенсивностью отказов λ . Отказы приборов второй группы — закону Рэлея с параметром λ_0 и k отказы приборов третьей группы — закону Вейбулла с параметрами λ_0 и k . Требуется определить вероятность безотказной работы изделия в течение времени t .

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл. 2.2.

Таблица 3.2.

Исходные данные и ответы к задачам 2.7–2.9

Номер задачи	Исходные данные						Ответ $P(t)$
	N групп	$\lambda = 10^{-3}$, 1/ч	t , ч	$\lambda_0 = 10^{-4}$, 0 1/ч	k	t , ч	
2.7	3	0,1	1200	0,03	1,5	1000	0,54
2.8	2	—	1000	1,6	1,3	500	0,53
2.9	2	0,09	—	1,3	1,3	120	0,93

2. Система состоит из N блоков, средняя наработка до первого отказа которых равна $T_{0,i}$. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить среднюю наработку до первого отказа системы.

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл. 2.3.

1. Система состоит из N блоков. Вероятность безотказной работы каждого блока в течение времени t равна $p_i(t)$.

Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить среднюю наработку до первого отказа системы.

Таблица 3.3.

Исходные данные и ответы к задачам

Номер задачи	Исходные данные						Ответ $T_{0.С}, ч$
	N блоков	$T_{01}, ч$	$T_{02}, ч$	$T_{03}, ч$	$T_{04}, ч$	$T_{05}, ч$	
2.10	3	150	750	500	—	—	100
2.11	4	1600	1800	2000	2200	—	468
2.12	5	20	30	40	50	60	6,9

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл. 2.4.

Таблица 3.4.

Исходные данные и ответы к задачам

Номер задачи	Исходные данные							Ответ $T_{0.С}, ч$
	N блоков	$t, ч$	$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$	$p_4(t)$	$p_5(t)$	
1	3	1000	0,97	0,98	0,96	—	—	10640
2	5	240	0,9	0,8	0,85	0,7	0,75	210
3	4	10	0,94	0,95	0,97	0,98	—	62,5

Система состоит из N элементов. Вероятность безотказной работы одного элемента в течение времени t равна $p(t)$. Требуется определить вероятность безотказной работы системы.

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл.2.5.

Таблица 3.5.

Исходные данные и ответы к задачам

Номер задачи	Исходные данные		Ответ $P_C(t)$
	$p(t)$	N элементов	
1	0,9999	1000	0,9
2	0,9998	50	0,99
3	0,9996	100	0,96

1–3. Вероятность безотказной работы системы в течение времени t равна $P_C(t)$. Система состоит из N равнонадежных элементов. Необходимо найти вероятность безотказной работы элемента.

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл. 2.6.

Таблица 3.6.

Исходные данные и ответы к задачам

Номер задачи	Исходные данные		Ответ $p(t)$
	$P_C(t)$	N элементов	
1	0,97	200	0,99985
2	0,95	300	0,99983
3	0,98	1000	0,99998

1-3. В изделии могут быть использованы только те элементы, интенсивность отказов которых равна λ . Изделие имеет число элементов N . Требуется определить среднюю наработку до первого отказа и вероятность безотказной работы в конце первого часа.

Исходные данные для решения задач и ответы приведены в табл.2.7.

Таблица 3.7.

Исходные данные и ответы к задачам

Номер задачи	Исходные данные		Ответ	
	$\lambda, 1/\text{ч}$	N элементов	$P_c(t)$	$T_{\text{о.с.}}, \text{ч}$
1	$1 \cdot 10^{-5}$	500	0,995	200
2	$1 \cdot 10^{-5}$	2500	0,975	40
3	$1 \cdot 10^{-3}$	100	0,905	10

2. Система состоит из трех устройств. Вероятность безотказной работы каждого устройства в течение времени $t=100\text{ч}$ равна: $P_1(100)=0,95$; $P_2(100)=0,96$; $P_3(100)=0,97$. Справедлив экспоненциальный закон надежности. Определить среднюю наработку до первого отказа системы.

Ответ: $T_{\text{о.с.}} = 1223,2 \text{ ч.}$

а. Система состоит из двух устройств. Вероятность безотказной работы каждого устройства в течение времени $t=100\text{ч}$ равна $P_1(100)=0,9$; $P_2(100)=0,8$. Справедлив экспоненциальный закон надежности. Определить вероятность безотказной работы системы за 200 ч работы.

Ответ: $P_c(200) = 0,52$.

б. Комплекс состоит из трех систем. Известны вероятности безотказной работы каждой системы в течение 50 ч, которые равны: $P_1(50)=0,7$; $P_2(50)=0,8$; $P_3(50)=0,9$. Справедлив экспоненциальный закон надежности. Определить вероятность безотказной работы комплекса в течение 100 ч и среднее время наработки до отказа.

Ответ: $P_c(100) = 0,247$, $T_{\text{о.с.}} = 72,97 \text{ ч.}$

с. Система состоит из трех приборов А, В и С, причем отказ любого прибора ведет к отказу системы. На испытание было поставлено 100 приборов каждого типа. За 100 часов работы приборы типа А отказали 10 шт., приборы В - 20 шт. и приборы С - 50 шт. Определить наработку до отказа системы в целом, если для приборов каждого типа справедлив экспоненциальный закон

надежности.

Ответ: $T_{0,с} = 101$ ч.

d. Система состоит из 100 элементов с одинаковой интенсивностью отказов. Вероятность отказа системы в течение 50ч $Q(50)=0,2$. Справедлив экспоненциальный закон надежности.

Определить наработку до первого отказа одного элемента системы.

Ответ: $T_0=22410$ ч.

e. Система состоит из двух блоков, средняя наработка до первого отказа которых равна $T_{01} = 200$ ч; $T_{02}=40$ ч. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Определить вероятность отказа системы за 10 часов работы.

Ответ: $Q(10) = 0,259$.

f. Система состоит из трех блоков, средняя наработка до первого отказа которых равна $T_{01} = 160$ ч; $T_{02} = 320$ ч; $T_{03} = 600$ ч. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить вероятность безотказной работы системы за 100 часов работы.

Ответ: $P_c(100) = 0,333$.

g. Система управления состоит из 6000 приборов с одинаковой интенсивностью отказов. Средняя наработка до отказа системы управления $T_{0,с}=600$ ч. Требуется рассчитать вероятность отказа одного прибора за 10 часов непрерывной работы. Справедлив экспоненциальный закон надежности.

Ответ: $q(10) = 0,3 \cdot 10^{-5}$.

h. Система состоит из *п* одинаковых элементов. Средняя наработка до первого отказа одного элемента $T_0=1000$ ч. Известно, что вероятность отказа системы в течение 100 ч $Q_c(100)=0,4$. Справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить число элементов.

Ответ: $n = 5$.

i. Схема расчета надежности устройства приведена на рис. 2.2. Интенсивности отказов элементов имеют следующие

значения: $\lambda=0,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$; $\lambda=0,3 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$; $\lambda=0,8 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.
Закон надежности считаем экспоненциальным. Найти среднюю наработку до первого отказа устройства.

j.

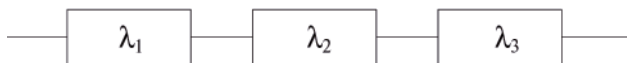


Рис. 2. Схема расчета надежности (к задаче 2.34)

Ответ: $T_{0.с} = 625 \text{ ч}$.

Заключение

Надежность механических систем – это научная дисциплина, применима для любых технических изделий. Однако для каждого направления изделий определяющими являются свои конкретные показатели, обеспечивающие заданную надежность.

Конструкции многих современных машин довольно быстро устаревают, что затрудняет накопление опыта их проектирования, производства и эксплуатации. В настоящее время ведутся закупки и внедрение в горное производство наиболее прогрессивных зарубежных машин. Выявляются их надежные, высокотехнологичные и производительные узлы и системы, которые, как правило, выпускаются специализированными фирмами. Эти узлы закупаются и внедряются в отечественные машины. Ведется выборочная интеграция однотипных элементов технологических машин в изделия аналогичного назначения в мировом масштабе.

Основными тенденциями современного машиностроения являются конструктивное усложнение и повышение научно-технического уровня изделий; рост интереса к вопросам надежности и безопасности машин и конструкций на всех стадиях их жизненного цикла; увеличение роли моделирования и вычислительного эксперимента, сравнения различных вариантов, полное использование автоматизированного и компьютерного проектирования машин.

Ввиду невозможности проведения ускоренных ресурсных испытаний большинства узлов и горных машин в целом большое значение имеют расчеты надежности машин на стадии их проектирования.

При достигнутых успехах в разработке программ расчетов на прочность, долговечность, износ, вычислительного моделирования, как составных частей автоматизированного компьютерного проектирования необходимы только знание исходных данных для конкретных разработок. Компьютерное проектирование вытеснило ручной способ черчения, ЭВМ-ные расчеты. За конструктором остались общие творческие вопросы,

решение которых и определяет характеристики машин и их надежность.

В этих условиях наиболее важное значение приобретают знания эксплуатационного персонала машин об основных понятиях надежности, возможных отказах, причинах их возникновения, способах устранения, методах обеспечения и поддержания надежности на всех стадиях жизнедеятельности машин, изложенных в настоящем практикуме.

Список литературы

1. Вентгцель, Е.С. Теория вероятностей: учебник вузов / Е.С. Вентгцель; 5-е изд. стереотип. – М: Высш. шк., 1998. – 576 с.
2. Кубарев, А.И. Надежность в машиностроении / А.И. Кубарев; 2-е изд. доп. – М: Изд-во стандартов, 1989. – 224 с.
3. Краев, М.В. надежность автономных энергических установок, учебное пособие / М.В. Краев, В.П. Назаров, В.М. Краев, В.Г. Ячубенко: под общ. ред. проф. М.В. Краева; САА 2-е изд. перераб. и доп. Красноярск, 2001. – 286 с.
4. Труханов, В.М. Надежность изделий машиностроения. Теория и практика: учебник / В.М. Труханов. – М: Машиностроение, 1996. – 336 с.
5. FedotovaGalina A.,SherIgor A.CURRENT PROBLEMS OF RELIABILITY STANDARDIZATION IN ENGINEERING[Электронныйресурс]//Melentiev Energy Systems Institute Siberian Branch of Russian Academy of Sciences. 2018. .URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=32509055.htm> (дата обращения: 13.03.2018).

Учебное издание

НАДЕЖНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Практикум

Составители:

Саая Сай-Суу Шолбановна

Куулар Олча Орлановна

Редактор *А.Р. Норбу*

Дизайн обложки *К.К. Сарыглар*

Сдано в набор: 30.03.2018. Подписано в печать: 14.05.2018.

Формат бумаги 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Физ. печ.л. 2,9. Усл. печ.л. 2,7. Заказ № 1409. Тираж 50 экз.

667000, г. Кызыл, Ленина, 36
Тувинский государственный университет
Издательство ТувГУ