

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ОХРАНЫ ТРУДА И АЭРОЛОГИИ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
для проведения практических (семинарских) занятий по дисциплине ва-  
риативной части учебного плана по выбору вуза  
«Безопасность и надежность технологических процессов в горном произ-  
водстве»

для обучающихся уровня профессионального образования "специалист" по  
направлению подготовки 21.05.04 горное дело всех форм обучения

РАССМОТРЕНО  
на заседании кафедры  
охраны труда и аэрологии  
Протокол № 1 от 27 августа 2020 г

УТВЕРЖДЕНО  
на заседании Учебно-издательского  
совета ДОННТУ  
Протокол № 8 от 15 декабря 2020 г.

Донецк  
2020

УДК 622.8(076)

ББК 33н

М54

**Рецензенты:**

Моргунов Виктор Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры энергомеханических систем ГОУВПО «ДОННТУ»;

Кавера Алексей Леонидович – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ».

**Составитель:**

Овсянников Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры охраны труда и аэрологии ГОУВПО «ДОННТУ».

М54 **Методические рекомендации для проведения практических (семинарских) занятий по дисциплине вариативной части учебного плана по выбору вуза «Безопасность и надежность технологических процессов в горном производстве» [Электронный ресурс]: для обучающихся уровня профессионального образования "специалист" по направлению подготовки 21.05.04 горное дело всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», Каф. охраны труда и аэрологии; сост. В.П. Овсянников. – Электрон. дан. (1 файл: 1 515 017 б). – Донецк: ДОННТУ, 2020. – Систем. требования: ZIP-архиватор.**

Методические рекомендации для проведения практических (семинарских) занятий обучающихся разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Безопасность и надежность технологических процессов в горном производстве». Приведены необходимые теоретические сведения и контрольное задание по курсу «Безопасность и надежность технологических процессов в горном производстве». Даны рекомендации и алгоритмы для выполнения контрольного задания.

Учебно-методические рекомендации могут быть использованы студентами горных специальностей всех форм обучения при подготовке и выполнении практических работ.

УДК 622.8(076)

ББК 33н

## Содержание

Объект, цель и задачи освоения дисциплины.....	4
Вычисление показателей надежности невосстанавливаемых изделий .....	4
Определение показателей надежности восстанавливаемых изделий.....	5
Экспоненциальный (показательный) закон.....	6
Распределение Вейбулла.....	6
Рекомендации по подготовке к практическим (семинарским) занятиям.....	6
Требования к качеству подготовки студентов к практическим (семинарским) занятиям.....	7
Рекомендации по подготовке доклада.....	7
Практическое (семинарское) занятие №1 Задача 1. ....	8
Практическое (семинарское) занятие №2 Задача 2.....	8
Практическое (семинарское) занятие №3 Задача 3. ....	9
Практическое (семинарское) занятие №4 Задача 4. ....	10
Практическое (семинарское) занятие №5 Задача 5. ....	10
Практическое (семинарское) занятие №6 Задача 6. ....	11
Практическое (семинарское) занятие №7 Задача 7. ....	11
Практическое (семинарское) занятие №8 Задача 8. ....	12
Практическое (семинарское) занятие №9 Задача 9. ....	12
Практическое (семинарское) занятие №10 Задача 10. ....	13
Список литературы.....	14

## Объект, цель и задачи освоения дисциплины

### Вычисление показателей надежности невосстанавливаемых изделий

Вероятность безотказной работы. Под вероятностью безотказной работы (ВБР) объекта понимается вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет. ВБР является основной количественной характеристикой безотказности объекта на заданном временном интервале. Статистически (по результатам наблюдений) ВБР определяется

$$P(t) = \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow 0 \\ N_0 \rightarrow \infty}} \frac{N_0 - \sum_{i=1}^{t/\Delta t} n_i}{N_0} \approx \frac{N(t)}{N_0}, \quad (1)$$

где  $N_0$  — число объектов в начале испытаний;  $n_i$  — число отказавших объектов в интервале времени  $t_i$ ;  $t$  — время, для которого определяется ВБР;  $N(t)$  — число объектов, исправно работающих на интервале  $[0, t]$ .

Статистически вероятность отказа вычисляется как

$$Q(t) = \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow 0 \\ N_0 \rightarrow \infty}} \frac{N_0 - \sum_{i=1}^{t/\Delta t} n_i}{N_0}, \quad (2)$$

где  $N_0$ ,  $n_i$ ,  $t$  и  $\Delta t_i$  имеют те же значения, что и в выражении (0.1).

Плотность вероятности  $f(t)$  (частота отказов) статистически определяется по формуле

$$f(\Delta t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (3)$$

где  $\Delta n(\Delta t)$  — число отказов за интервал времени  $\Delta t$ .

Средняя наработка до отказа — это математическое ожидание наработки до первого отказа  $m_1(T)$ . Обозначают  $T_{cp}$  и называют иногда средним временем безотказной работы. Статистическая средняя наработка до отказа однотипных объектов равна

$$T_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{j=1}^{N_0} t_j, \quad (4)$$

где  $t_j$  — время исправной работы  $j$ -го объекта.

Интенсивность отказов — это отношение числа отказавших объектов в единицу времени к среднему числу объектов, продолжающих исправно работать в данный интервал времени

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N(t) \Delta t}, \quad (5)$$

где  $\Delta n(\Delta t)$  — число отказов объекта за промежуток времени  $\Delta t$

$$N(t) = \frac{N_{i-1} + N_i}{2},$$

$N_{i-1}$  — число исправно работающих объектов в начале интервала времени  $\Delta t$ ;  
 $N_i$  — число исправно работающих объектов в конце интервала времени  $\Delta t$ .

Интенсивность отказов часто называют  $\lambda$ -характеристикой, она показывает, какая часть объектов выходит из строя в единицу времени по отношению к среднему числу исправно работающих объектов.

### Определение показателей надежности восстанавливаемых изделий

Средняя наработка на отказ – наработка восстанавливаемого элемента, приходящаяся в среднем на один отказ в рассматриваемом интервале суммарной наработки или определённой продолжительности эксплуатации:

$$T_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i, \quad (6)$$

где  $t_i$  – наработка элемента до  $i$ -го отказа;  $m$  – число отказов в рассматриваемом интервале суммарной наработки.

Среднее время восстановления одного отказа в рассматриваемом интервале суммарной наработки или определённой продолжительности эксплуатации

$$T_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{vi}, \quad (7)$$

$t_{vi}$  – время восстановления  $i$ -го отказа;  $m$  – число отказов в рассматриваемом интервале суммарной наработки.

Коэффициент готовности  $K_G$  представляет собой вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольный момент времени, кроме периодов выполнения планового технического обслуживания, когда применение изделия по назначению исключено

В стационарном (установившемся) режиме эксплуатации и при любом виде закона распределения времени работы между отказами и времени восстановления коэффициент готовности определяют по формуле

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \quad (8)$$

где  $T_0$  – средняя наработка на отказ;  $T_B$  – среднее время восстановления одного отказа.

Коэффициент технического использования учитывает затраты времени на плановые и неплановые ремонты, а также регламенты, и определяется по формуле

$$K_{Т.И.} = \frac{t_n}{t_n + t_B + t_P + t_0}, \quad (9)$$

где  $t_n$  – суммарная наработка изделия в рассматриваемый промежуток времени;  $t_B$ ,  $t_P$  и  $t_0$  – соответственно суммарное время, затраченное на восстановление, ремонт и техническое обслуживание изделия за тот же период времени.

**Экспоненциальный (показательный) закон** распределения времени безотказной работы технического устройства в общем случае записывается так:

$$P(t) = \exp(-\lambda t), \quad (10)$$

где  $\lambda$  - интенсивность отказов объекта для экспоненциального распределения (она постоянна), т.е.  $\lambda = \text{const}$ .

Вероятность отказа за время  $t$

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \exp(-\lambda t). \quad (11)$$

Частота отказов

$$f(t) = \partial Q / \partial t = \lambda \exp(-\lambda t), \quad (12)$$

Интенсивность отказов

$$\lambda = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (13)$$

Среднее время работы до возникновения отказа

$$T_1 = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt = 1 / \lambda. \quad (14)$$

### Распределение Вейбулла

Распределение Вейбулла применяют для случая, когда поток отказов не стационарный, т.е. плотность потока изменяется с течением времени. Характеристики надежности в этом случае определяются по формулам.

Плотность вероятности отказов этого распределения:

$$f(t) = \lambda_0 \alpha t^{\alpha-1} \exp(-\lambda_0 t^\alpha), \quad (15)$$

Вероятность отсутствия отказа за время  $t$

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 t^\alpha). \quad (16)$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \lambda_0 \alpha t^{\alpha-1} \text{ или } \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (17)$$

Средняя наработка до первого отказа определится из следующего выражения:

$$T_{cp} = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha+1}\right)}{\lambda_0^{\frac{1}{\alpha}}}. \quad (18)$$

Значения  $\Gamma$  (гамма-функции) табулированы в электронных таблицах.

### Рекомендации по подготовке к практическим (семинарским) занятиям

Семинар - важная и обязательная форма дидактического процесса, дополняющая лекционную форму обучения и ее углубление.

На семинарах поднимаются наиболее важные и сложные вопросы курса, требующие специальной подготовки студента с использованием рекомендованной учебной литературы и лекций.

Подготовку к семинару нужно проводить в следующем порядке:

- 1) Внимательно ознакомьтесь с планом семинара по заданной теме.

2) Прочитать конспекты лекций по теме семинара, отмечая материал, необходимый для изучения поставленных вопросов.

3) Ознакомиться с рекомендованной учебной литературе по данной теме: в первую очередь - с основной, при необходимости углубленного изучения - с дополнительной.

4) Обратите особое внимание на основные понятия изучаемого предмета, знание которых способствует эффективному усвоению курса.

5) Разберитесь в доступных в теме формулах и в том, как они используются для выполнения необходимых расчетов.

6) Освоить приемы построения графических моделей, если они используются в изучаемом предмете.

7) В процессе изучения темы следует подготовить тезисы или небольшие заметки в записной книжке семинара. Особенно это актуально для вопросов, предназначенных для самостоятельного изучения. Эти заметки можно использовать на семинаре для публичных выступлений, а также для работы во время семестровой работы и при подготовке к экзамену.

### **Требования к качеству подготовки студентов практическим (семинарским) занятиям**

1. Подготовка к семинару является обязательной частью работы студента и охватывает все темы в плане занятия, а не выборочно по конкретным темам.

2. Работа студента на семинаре предполагает его высокую активность и соответствие следующим требованиям к публичным выступлениям:

а) свободное устное воспроизведение подготовленного выступления по темам с использованием заметок в качестве помощников. Это требование распространяется также на отображение графических моделей и формул на доске;

б) готовность и способность отвечать на вопросы и делать выводы из сказанного;

в) знание терминологии темы доклада;

г) регламент выступления - 10 минут.

### **Рекомендации по подготовке доклада**

Доклад готовится по вопросу, выбранному из тем, предложенных для каждого семинара, согласованному с преподавателем. Доклад готовится с использованием как основной, так и дополнительной литературы, выбранной студентом самостоятельно. Как правило, на чтение доклада на семинаре отводится 10 минут. После прочтения доклада студентам предлагается обсудить проблемные вопросы, поднятые в выступление. При чтении доклада студент должен представить материал в доступной и понятной форме.

## Практическое (семинарское) занятие №1

**Задача 1.** На испытание было поставлено  $N_0=500$  однотипных изделий. За первые  $t_1=3000$  ч отказало  $n_1=40$  изделий, а за интервал времени  $t_2=3000 \dots t_3=4000$  ч отказало еще  $n_2=25$  изделий. Требуется определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа за  $t_2$  и  $t_3$  ч работы. Вычислить плотность и интенсивность отказов изделий в промежутке времени  $t_2 \dots t_3$  ч.

### Пример решения

Вероятность безотказной работы

$$P(3000) = \frac{N(3000)}{N_0} = \frac{460}{500} = 0,92. \quad (1,1)$$

где  $N(3000) = N_0 - \sum n_i = 500 - 40 = 460 \quad (1,2)$

$$P(4000) = \frac{N(4000)}{N_0} = \frac{435}{500} = 0,87. \quad (1,3)$$

где  $N(4000) = N_0 - \sum n_i = 500 - (40 + 25) = 435 \quad (1,4)$

Вероятность отказа

$$Q(3000) = \frac{\sum n_i}{N_0} = \frac{40}{500} = 0,08, \quad (1,5)$$

$$Q(4000) = \frac{40 + 25}{500} = 0,13. \quad (1,6)$$

Плотность вероятности отказов в интервале 3000 ... 4000 ч

$$f(\Delta t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N_0 \Delta t} = \frac{25}{500 * 1000} = 0,00005(1/ч) \quad (1,7)$$

Интенсивность отказов в интервале 3000 ... 4000 ч

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N(t) \Delta t} = \frac{25}{447,5 * 1000} = 0,00005(1/ч) \quad (1,8)$$

$$N(t) = \frac{N_{t-1} + N_t}{2} = \frac{460 + 435}{2} = 447,5. \quad (1,9)$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N_0$	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
$t_1$	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
$n_1$	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$t_2$	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000
$n_2$	20	25	30	35	40	45	50	55	60	60,05
$t_3$	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500

## Практическое (семинарское) занятие №2

**Задача 2** На испытание поставлено  $N_0=400$  изделий. За  $t_1=3000$  часов отказало  $n_1=200$  изделий, за следующие  $t_2=100$ , часов отказало еще  $n_2=100$  изделий. Определить  $P(t_1)$ ,  $P(t_1 + t_2)$ ,  $P(t_1 + t_3)$ ,  $f(t_1 + t_3)$ ,  $\lambda(t_1 + t_3)$ ,  $t_3=50$  часов.

### Пример решения

Вероятность безотказной работы в течение 3000, 3100 и 3050 ч

$$P(3000) = \frac{N(3000)}{N_0} = \frac{200}{400} = 0,5, \quad (2.1)$$

где  $N(3000) = N_0 - \sum n_i = 400 - 200 = 200$  (2.2)

$$P(3100) = \frac{N(3100)}{N_0} = \frac{100}{400} = 0,25, \quad (2.3)$$

где  $N(3100) = N_0 - \sum n_i = 400 - (200 + 100) = 100$  (2.4)

$$P(3050) = \frac{N(3050)}{N_0} = \frac{150}{400} = 0,375, \quad (2.5)$$

где  $N(3050) = N_0 - \sum n_i = 400 - (200 + 50) = 150$  (2.6)

Принимая среднюю частоту отказов 1 отказ в час ( $n_2/t_2$ ), за  $t_3$  часов имеем  $n_3=50$  отказов.

Плотность вероятности отказов в течение  $t_3$  ч

$$f(t_1 + t_3) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N_0 \Delta t} = \frac{n_1 + n_3}{N_0 * (t_1 + t_3)} = \frac{250}{400 * 3050} = 0,0002. \quad (2.7)$$

Интенсивность отказов в промежуток времени от 0 до  $t_1+t_3$  ч

$$\lambda(t_1 + t_3) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N(t) \Delta t} = \frac{n_1 + n_3}{N(t)(t_1 + t_3)} = \frac{250}{275 * 3050}. \quad (2.8)$$

$$N(t) = \frac{N_0 + n_3}{2} = \frac{400 + 150}{2} = 275. \quad (2.9)$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
No	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
t1	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500
n1	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
t2	50	70	90	110	130	150	170	190	210	230
n2	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
t3	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110

### Практическое (семинарское) занятие №3

**Задача 3.** В течение некоторого периода времени производилось наблюдение за работой технологической линии по выработке сливочного масла. За весь период наблюдений было зарегистрировано  $n=15$  отказов. До начала наблюдений линия проработала  $t_1=258$  ч, к концу наблюдения наработка линии составила  $t_2=1233$  ч. Требуется определить среднюю наработку на отказ  $T_0$ .

**Пример решения**

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{t_2 - t_1}{n} = \frac{1233 - 258}{15} = 65(\text{ч}). \quad (3.1)$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
t1	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425
t2	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800

## Практическое (семинарское) занятие №4

**Задача 4.** Производилось наблюдение за работой трех экземпляров однотипной аппаратуры. За период наблюдений было зафиксировано по первому экземпляру аппаратуры  $n_1=6$  отказов, по второму и по третьему –  $n_2=11$  и  $n_3=8$  отказов соответственно. Нарботка первого экземпляра составила  $t_1=181$  ч, второго –  $t_2=329$  ч, третьего –  $t_3=245$  ч. Требуется определить наработку аппаратуры на отказ.

**Пример решения.** Нарботка на отказ первого экземпляра

$$T_{01} = \frac{1}{n_1} \sum t_{cp1} = \frac{181}{6} = 30,17(\text{ч}); \quad (4.1)$$

Нарботка на отказ второго экземпляра

$$T_{02} = \frac{1}{n_2} \sum t_{cp2} = \frac{329}{11} = 29,91(\text{ч}); \quad (4.2)$$

Нарботка на отказ третьего экземпляра

$$T_{03} = \frac{1}{n_3} \sum t_{cp3} = \frac{245}{8} = 30,62(\text{ч}). \quad (4.3)$$

Средняя наработка аппаратуры на отказ

$$T_0 = \frac{T_{01} + T_{02} + T_{03}}{3} = \frac{30,17 + 29,91 + 30,62}{3} = 30,23(\text{ч}). \quad (4.4)$$

$$\text{Или } t_{cp} = \frac{t_{cp1} + t_{cp2} + t_{cp3}}{3} = \frac{181 + 329 + 245}{3} = 251,67(\text{ч});$$

(4.5)

$$n = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3} = \frac{6 + 11 + 8}{3} = 8,33(\text{ч}). \quad (4.6)$$

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum t_{cpi} = \frac{251,67}{8,33} = 30,21(\text{ч}). \quad (4.7)$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_1$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$n_2$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$n_3$	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
$t_1$	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
$t_2$	250	265	280	295	310	325	340	355	370	385
$t_3$	220	234	248	262	276	290	304	318	332	346

## Практическое (семинарское) занятие №5

**Задача 5** За наблюдаемый период эксплуатации в аппаратуре было зафиксировано 8 отказов. Время восстановления составило:

$$\begin{array}{llll} t_1 = 12 \text{ мин} & t_2 = 23 \text{ мин} & t_3 = 15 \text{ мин} & t_4 = 9 \text{ мин} \\ t_5 = 17 \text{ мин} & t_6 = 28 \text{ мин} & t_7 = 25 \text{ мин} & t_8 = 31 \text{ мин.} \end{array}$$

Требуется определить среднее время восстановления аппаратуры.

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t <sub>1</sub>	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27
t <sub>2</sub>	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29
t <sub>3</sub>	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
t <sub>4</sub>	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33
t <sub>5</sub>	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35
t <sub>6</sub>	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37
t <sub>7</sub>	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39
t <sub>8</sub>	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41

**Пример решения.** Среднее время восстановления равно

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{ср}i} = \frac{12 + 23 + 15 + 9 + 17 + 28 + 25 + 31}{8} = 20(\text{мин}). \quad (5.1)$$

### Практическое (семинарское) занятие №6

**Задача 6.** Интенсивность отказов изделия  $\lambda = 0,82 \cdot 10^{-3}$  1/час = const. Необходимо найти вероятность безотказной работы в течение  $t_1 = 6$  час работы  $P(t_1)$ , частоту отказов  $f(t_2)$  при  $t_2 = 100$  час и среднюю наработку до первого отказа  $T_{\text{ср}}$ .

**Пример решения.** Вероятность безотказной работы в течение 6 час работы  $P(6)$

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,00082 \cdot 6} = 0,995 \quad (6.1)$$

Частота отказов при  $t_2 = 100$  час.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} = 0,00082 e^{-0,00082 \cdot 100} = 0,75 \cdot 10^{-3} (1/\text{час}) \quad (6.2)$$

Средняя наработка до отказа

$$T_{\text{ср}} = 1/\lambda = 1/0,00082 = 1219,5(\text{час}) \quad (6.3)$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t <sub>1</sub>	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
t <sub>2</sub>	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
$\lambda$	2,00E-04	7,00E-04	1,20E-03	1,70E-03	2,20E-03	2,70E-03	3,20E-03	3,70E-03	4,20E-03	4,70E-03

### Практическое (семинарское) занятие №7

**Задача 7** Вероятность безотказной работы автоматической линии изготовления цилиндров автомобильного двигателя в течение  $t_1=120$  час равна  $P_1=0,9$ . Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется рассчитать интенсивность отказов и частоту отказов линии для момента времени  $t_2=120$  час.

**Пример решения.** Интенсивность отказов определим, исходя из вероятности безотказной работы

$$P(t) = e^{-\lambda t} \rightarrow \ln[P(t)] = -\lambda t \quad (7.1)$$

$$\lambda = -\ln[P(t)]/t = -\ln(0,9)/120 = 0,88 \cdot 10^{-3} (1/\text{час}) \quad (7.2)$$

Частота отказов

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} = 0,88 \cdot 10^{-3} e^{-0,00088 \cdot 120} = 0,79 \cdot 10^{-3} (1/\text{час}) \quad (7.3)$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t <sub>1</sub>	80	87	94	101	108	115	122	129	136	143
t <sub>2</sub>	95	103	111	119	127	135	143	151	159	167
P	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95

### Практическое (семинарское) занятие №8

**Задача 8** Средняя наработка до первого отказа автоматической системы управления равна T<sub>ср</sub>=640час. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности. Необходимо определить вероятность безотказной работы в течение t<sub>2</sub>=120 час, частоту отказов для момента времени t<sub>3</sub>=120 час и интенсивность отказов.

**Пример решения.** Интенсивность отказов

$$\lambda = 1/T_{ср} = 1/640 = 1,56 \cdot 10^{-3} (1/\text{час}) \quad (8.1)$$

Вероятность безотказной работы в течение 120 час

$$P(t) = e^{-\lambda t} = e^{-0,00156 \cdot 120} = 0,83 \quad (8.2)$$

Частота отказов в течение 120 час.

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} = 0,00156 \cdot e^{-0,00156 \cdot 120} = 1,3 \cdot 10^{-3} (1/\text{час}) \quad (8.3)$$

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t <sub>1</sub>	75	82	89	96	103	110	117	124	131	138
t <sub>2</sub>	85	93	101	109	117	125	133	141	149	157
T <sub>ср</sub>	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950

### Практическое (семинарское) занятие №9

**Задача 9.** Время безотказной работы устройства подчиняется закону Вейбулла с параметрами  $\alpha = 1,5$ ,  $\lambda_0 = 10^{-4}$  1/час, а время его работы t = 100 час. Требуется вычислить количественные характеристики надежности такого устройства.

**Пример решения.** Вероятность безотказной работы устройства

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t^\alpha} = \exp(-10^{-4} \cdot 100^{1,5}) = 0,9; \quad (9.1)$$

Частота отказов

$$f(t) = \lambda \alpha t^{\alpha-1} e^{-\lambda_0 t^\alpha} = 10^{-4} \cdot 1,5 \cdot 100^{1,5-1} \cdot 0,9 = 1,35 \cdot 10^{-3} (1/\text{час}) \quad (9.2)$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{1,35 \cdot 10^{-3}}{0,9} = 1,5 (1/\text{час}) \quad (9.3)$$

Среднее время безотказной работы

$$T_{cp} = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)}{\lambda_0^\alpha} = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{1,5} + 1\right)}{(10^{-4})^{1,5}} = \frac{\Gamma(1,67)}{0,00215} = \frac{0,90330}{0,00215} = 420(\text{час}). \quad (9.4)$$

Значение гамма-функции  $\Gamma(1,67) = 0,90330$  определяем при помощи функции =ГАММА(1,67).

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha = 1,5$	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55
$\lambda_0 = 10^{-4}$	5,E-05	6,E-04	1,E-03	2,E-03	2,E-03	3,E-03	3,E-03	4,E-03	4,E-03	5,E-03
$t = 100$	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140

### Практическое (семинарское) занятие №10

**Задача 10.** Вероятность безотказной работы гироскопа в течение  $t_1 = 150$  час равна  $P=0,9$ . Время исправной работы подчинено закону Вейбулла с параметром  $\alpha = 2,6$ . Необходимо определить интенсивность отказов, частоту отказов гироскопов для  $t_2 = 150$  час и среднюю наработку до первого отказа.

**Пример решения.** Определим параметр  $\lambda_0$  закона Вейбулла

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t^\alpha} \rightarrow \lambda_0 = -\frac{\ln[P(t)]}{t^\alpha} = -\frac{\ln(0,9)}{150^{2,6}} = 0,23 \cdot 10^{-6} (1/\text{час}) \quad (10.1)$$

Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \alpha \lambda_0 t^{\alpha-1} = 2,6 \cdot 0,23 \cdot 10^{-6} \cdot 150^{2,6-1} = 1,8 \cdot 10^{-3} (1/\text{час}); \quad (10.2)$$

Частота отказов

$$f(t) = \lambda_0 \alpha t^{\alpha-1} e^{-\lambda_0 t^\alpha} = \lambda(t) P(t) = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9 = 1,62 \cdot 10^{-3} (1/\text{час});$$

Среднее время безотказной работы

$$T_{cp} = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)}{\lambda_0^\alpha} = \frac{\Gamma\left(\frac{1}{2,6} + 1\right)}{(0,23 \cdot 10^{-6})^{2,6}} = \frac{\Gamma(1,38)}{0,0028} = \frac{0,88854}{0,0028} = 316,6(\text{час}).$$

Значение гамма-функции  $\Gamma(1,38) = 0,88854$  определяем при помощи функции =ГАММА(1,38).

Наименование	Варианты									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_1$	100	115	130	145	160	175	190	205	220	235
$t_2$	80	92	104	116	128	140	152	164	176	188
P	0,70	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97
$\alpha$	2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,4	4,7

## Список литературы

### *I Основная литература*

1. Надежность машин и оборудования: учебное пособие/ Н.Н. Кокушин, А.А. Тихонов, С.Г. Петров, В.Е. Головкин, И.В. Ключкин; СПбГТУРП.-СПб., 2013.- 67 с.: ил. 12 - 1 файл. Режим доступа: <http://ed.donntu.org/books/20/cd9930.pdf> . - Загл. с экрана.
- 2 Ткаченко Н.И., Башняк С.Е. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие Н.И. Ткаченко, С.Е. Башняк. - пос. Персиановский: Донской ГАУ, 2015. - 60 с.

### *II Дополнительная литература*

- 3 Шубин, Р.А. Надёжность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / Р.А. Шубин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с. – 50 экз. – ISBN 978-5-8265-1086-5. - 1 файл. - Режим доступа: <http://ed.donntu.org/books/cd4864.pdf> - Загл. с экрана.
- 4 Чебоксаров А.Н. Основы теории надежности и диагностика: курс лекций / А.Н. Чебоксаров. – Омск: СибАДИ, 2012. – 76 с. 1 файл. - Режим доступа: - <http://ed.donntu.org/books/20/cd9924.pdf> Загл. с экрана.
- 5 Красик Я.Л., Андриевская Н.К. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ОАО «Автоматгормаш им Антипова», г. Донецк Донецкий национальный технический университет, г. Донецк кафедра автоматизированных систем управления Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. Випуск 106. — Донецьк: ДонНТУ, 2006. — 220 с

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
“ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”

КАФЕДРА «ОХРАНЫ ТРУДА И АЭРОЛОГИИ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
для проведения практических (семинарских) занятий по дисциплине ва-  
риативной части учебного плана по выбору вуза  
«Безопасность и надежность технологических процессов в горном произ-  
водстве»

для обучающихся уровня профессионального образования "специалист" по  
направлению подготовки 21.05.04 горное дело всех форм обучения

РАССМОТРЕНО  
на заседании кафедры  
охраны труда и аэрологии  
Протокол № 1 от 27 августа 2020 г

УТВЕРЖДЕНО  
на заседании Учебно-издательского  
совета ДОННТУ  
Протокол №8 от 15 декабря 2020 г.

Донецк  
2020