**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова»
(ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ)**

Ю.А. Кочинов

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

*Методические указания для выполнения
курсовых работ*

*Пермь
ИПЦ «ПрокростЪ»
2022*

УДК 378.147 : 621.3.019.32
ББК 30н
К 755

Рецензенты:

В.В. Пискунова, к.м.н., доцент кафедры безопасности жизнедеятельности (ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ).

С.Б. Кучков, к.э.н., доцент кафедры технического сервиса и ремонта машин (ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ).

К 755 Кочинов, Ю.А.

Надежность технических систем и техногенный риск: методические указания для выполнения курсовых работ / Ю.А. Кочинов ; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образования «Пермский гос. аграрно-технолог. университет им. акад. Д.Н. Прянишникова». – Пермь: ИПЦ «ПрокростЪ», 2022. – 92 с.

В методических указаниях представлены варианты заданий и методика выполнения курсовых работ по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск», список рекомендуемых источников, рекомендации по выполнению и оформлению работы, нормативно-справочная информация.

Методические указания предназначены для обучающихся очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, направленность (профиль) «Безопасность технологических процессов и производств».

УДК 378.147 : 621.3.019.32
ББК 30н

Рекомендованы к изданию методической комиссией инженерного факультета ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, протокол №9 от 17.05. 2022 г.

©ИПЦ «ПрокростЪ», 2022
© Кочинов Ю.А., 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение…… 4
1 Методические рекомендации по выполнению курсовых работ 5
1.1 Статистический анализ износов деталей ……. 5
1.1.1 Обработка статистических данных по износу деталей 5
1.1.2 Определение числовых характеристик износа (экспериментального распределения) …… 22
1.1.3 Графическое построение опытного распределения … 23
1.1.4 Выбор теоретического закона распределения износов деталей ……. 25
1.1.5 Определение доверительного интервала и относительной ошибки характеристик износа деталей …….. 29
1.1.6 Распределение деталей по группам годности …….. 31
1.2 Логико-графический метод анализа надежности и риска .. 33
1.2.1 Построение дерева отказов …… 46
1.2.2 Количественный анализ дерева отказов ……. 49
2 Структура, оформление и оценка курсовых работ ……. 52
Заключение ……. …….. 56
Список литературных источников ……..... 57
Электронные базы данных ……. 59
Приложение 1. Значения коэффициентов и критериев …… 61
Приложение 2. Значения функций законов теоретического распределения ……. 64
Приложение 3. Пример выполнения основной части курсовой работы …… 71
Приложение 4. Форма титульного листа курсовой работы ……. 92

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания для выполнения курсовых работ по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск» разработаны в соответствии с ОПОП ВО по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность и предназначены для помощи обучающимся очной и заочной формы обучения в выполнении курсовых работ.

Целью выполнения курсовой работы является систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний обучающегося по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск».

Задачи, решаемые в процессе выполнения курсовой работы:

- провести статистический анализ, обосновать теоретический закон распределения износов деталей и определить количество деталей по группам годности;
- выполнить анализ риска развития опасной ситуации логико-графическим методом.

В методических указаниях приведены задания курсовой работы по отдельным разделам дисциплины, представлены методики расчета показателей, справочные данные, рекомендации по написанию и оформлению работы, список литературных источников и электронные базы данных.

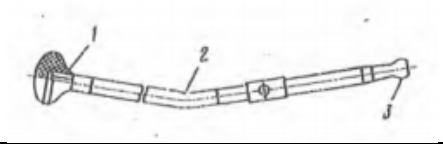
1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВЫХ РАБОТ

1.1 Статистический анализ износов деталей

1.1.1 Обработка статистических данных по износу деталей

В соответствии с вариантом исходных данных обосновать места измерения износов деталей и в соответствии с размером детали и требуемой точностью подобрать мерительный инструмент. Выбор варианта осуществляется по номеру в списке группы.

Вариант 1. Коробка перемены передач

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Рычаг переключения в сборе 	3	Износ сферической поверхности наконечника Микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$Ø15{,}5_{-0{,}240}$	14,85	14,50

Результаты измерений, мм

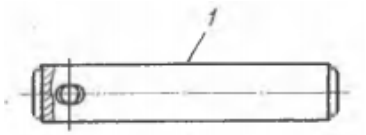
15,12	14,20	14,60	14,38	14,16	14,98	14,72	15,10	14,32	14,6
14,38	14,16	14,80	14,14	14,16	14,60	14,44	14,60	14,42	14,39
14,16	14,28	14,35	14,12	14,36	14,16	14,40	14,45	14,7	14,72
14,5	14,59	14,18	14,27	14,37	14,30	14,20	14,41	14,52	14,75
14,76	14,56	14,22	14,31	14,78	14,58	14,22	14,32	14,33	14,58

Материал – сталь 45

Масса – 0,45 кг

Твердость – НВ 241…285

Вариант 2. Передний ведущий мост трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Ось 	1	Износ поверхности под регулировочный винт и крышку переднего моста Скобы или микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$Ø\ 16^{+0,080}_{+0,045}$	15,70	15,50

Результаты измерений, мм

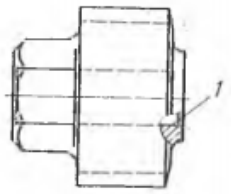
15,64	15,68	15,58	15,63	15,61	15,40	15,55	15,64	15,70	15,15
15,76	15,56	15,63	15,60	15,41	15,64	15,39	15,56	15,57	15,80
15,56	15,62	15,59	15,43	15,64	15,25	15,38	15,37	15,77	15,67
15,61	15,59	15,42	15,64	15,64	15,00	15,20	15,79	15,37	15,66
15,58	15,45	15,64	15,85	15,64	15,64	15,78	15,37	15,65	15,60

Материал – сталь 40 Х

Масса – 0,12 кг

Твердость – HRC 31 … 36

Вариант 3. Передний ведущий мост трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Винт 	1	Износ поверхности отверстия под ось Пробки или нутромер индикаторный

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø $16{,}5^{+0{,}24}$	16,81	16,91

Результаты измерений, мм

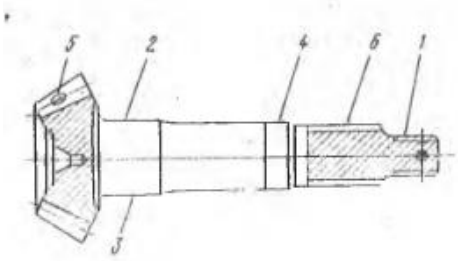
16,77	16,93	16,92	16,85	16,95	17,02	16,95	17,06	16,98	16,99
17,10	16,91	16,83	16,95	17,02	16,95	17,06	16,95	17,02	17,01
16,9	16,88	16,95	17,02	17,08	17,05	16,95	17,02	16,95	17,01
16,88	16,95	16,88	17,15	17,04	16,95	17,02	16,97	16,98	16,95
16,75	16,88	17,11	17,03	16,95	17,02	16,96	16,9	16,99	17,2

Материал — сталь 40Х

Масса — 0,345 кг

Твердость — HRC 35... 40

Вариант 4. Передний ведущий мост трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Шестерня 	6	Износ шлицев по толщине Зубомер (установочная высота зуба 1 мм)

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$4^{-0{,}016}_{-0{,}116}$	3,75	3,62

Результаты измерений, мм

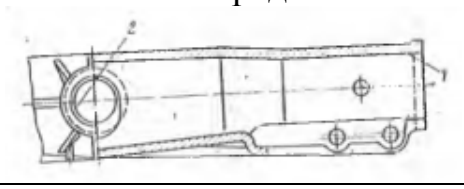
3,4	3,72	3,7	3,78	3,51	3,6	3,67	3,74	3,67	3,65
3,71	3,64	3,74	3,5	3,8	3,58	3,74	3,6	3,63	3,64
3,68	3,74	3,47	3,6	3,57	3,67	3,6	3,63	3,63	3,66
3,74	3,46	3,6	3,55	3,67	3,6	3,62	3,66	3,65	3,67
3,85	3,6	3,54	3,67	3,6	3,61	3,66	3,65	3,61	3,46

Материал — сталь 20ХНР

Масса — 1,375 кг

Твердость поверхности шлицев HRC 50.

Вариант 5. Передняя ось трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Ось передняя 	2	Износ поверхности отверстия под ось качания Пробки или нутромер индикаторный

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø 50 $^{+0,142}_{+0,080}$	50,60	50,85

Результаты измерений, мм

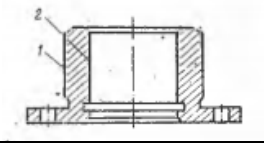
50,22	50,51	50,85	50,38	50,66	50,53	50,48	50,54	50,6	51,0
50,5	50,82	50,35	50,66	50,53	50,46	50,54	50,59	50,65	50,53
50,8	50,3	50,66	50,53	50,44	50,66	50,57	50,63	50,53	50,69
50,28	50,66	50,53	50,42	50,66	50,56	50,62	50,53	50,68	50,75
50,2	50,53	50,41	50,66	50,55	50,61	50,53	50,67	50,71	50,95

Материал — сталь 45Л - 11

Масса — 30 кг

Твердость — НВ 143 ...217.

Вариант 6. Передняя ось трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Втулка нижняя 	1	Износ поверхности под кронштейн кулака Скобы или микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø 80 +0,018 -0,012	79,90	79,85

Результаты измерений, мм

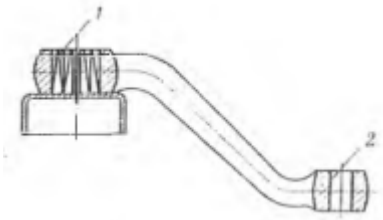
79,97	79,85	79,84	79,93	79,88	79,76	79,78	79,75	79,8	79,68
79,84	79,84	79,81	79,88	79,75	79,78	79,84	79,8	79,83	79,82
79,84	79,9	79,87	79,87	79,77	79,84	79,8	79,83	79,83	79,81
79,89	79,86	79,86	79,79	79,84	79,79	79,82	79,82	79,81	79,9
79,96	79,79	79,79	79,84	79,79	79,81	79,82	79,82	79,89	79,66

Материал — СЧ 18

Масса — 1,485 кг

Твердость — НВ 143 ...239.

Вариант 7. Передняя ось трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Рычаг поворотный 	1	Износ шлицевых пазов по ширине Микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
6 $^{+0,108}_{+0,060}$	6,40	7,00

Результаты измерений, мм

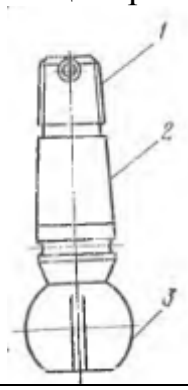
6,2	6,8	6,65	6,4	6,7	6,46	6,58	6,56	6,57	7,16
6,74	6,92	6,35	6,56	6,45	6,57	6,56	6,71	6,7	6,58
6,9	6,3	6,5	6,44	6,52	6,56	6,71	6,7	6,59	6,71
6,28	6,56	6,43	6,5	6,56	6,71	6,59	6,59	6,71	6,73
6,15	6,42	6,47	6,56	6,71	6,59	6,7	6,7	6,72	7,15

Материал — сталь 45

Масса — 2,42 кг

Твердость — НВ 241 ...285.

Вариант 8. Передняя ось трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Палец шаровой 	3	Износ шаровой поверхности (сферы) Микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø 32 $^{+0,050}_{-0,100}$	31,85	31,75

Результаты измерений, мм

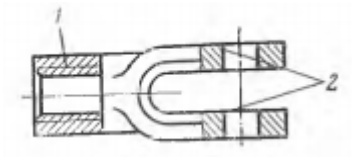
31,88	31,65	31,63	31,82	31,69	31,73	31,67	31,64	31,66	31,47
31,64	31,68	31,81	31,59	31,72	31,66	31,63	31,69	31,59	31,6
31,68	31,8	31,69	31,71	31,65	31,62	31,69	31,58	31,62	31,54
31,78	31,69	31,7	31,75	31,62	31,69	31,57	31,62	31,52	31,65
31,85	31,7	31,74	31,62	31,69	31,56	31,62	31,5	31,61	31,45

Материал — сталь 40Х

Масса — 0,3 кг

Твердость — НВ 255 ...302.

Вариант 9. Рулевое управление трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Вилка 	2	Износ поверхности отверстия под ось Пробки или нутромер индикаторный

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø $12^{+0,27}$	12,45	12,6

Результаты измерений, мм

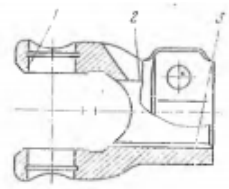
12,3	12,62	12,81	12,35	12,52	12,71	12,67	12,69	12,6	12,91
12,62	12,8	12,38	12,82	12,7	12,5	12,55	12,54	12,59	12,52
12,78	12,4	12,52	12,68	12,48	12,51	12,53	12,58	12,52	12,6
12,34	12,52	12,64	12,46	12,46	12,62	12,57	12,52	12,51	12,53
12,28	12,63	12,44	12,45	12,62	12,56	12,52	12,61	12,61	12,9

Материал — сталь 45Л

Масса — 0,95 кг

Твердость — НВ 143 ...229.

Вариант 10. Рулевое управление трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Вилка 	2	Износ поверхности отверстия под вал Пробки или нутромер индикаторный

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø $24^{+0,14}$	24,20	24,25

Результаты измерений, мм

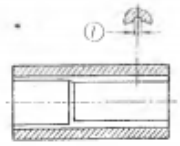
24,18	24,3	24,43	24,23	24,29	24,3	24,25	24,3	24,27	24,48
24,3	24,41	24,22	24,29	24,38	24,31	24,33	24,35	24,27	24,29
24,4	24,21	24,29	24,34	24,37	24,33	24,3	24,26	24,29	24,34
24,2	24,29	24,34	24,37	24,32	24,31	24,25	24,29	24,34	24,35
24,16	24,34	24,36	24,32	24,3	24,24	24,29	24,34	24,35	24,45

Материал — сталь 45Л

Масса — 0,27 кг

Твердость — НВ 229 ...285.

Вариант 11. Рулевое управление трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Втулка шлицевая 	1	Износ шлицевых пазов по ширине Пробки

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$6^{+0,06}$	6,10	6,20

Результаты измерений, мм

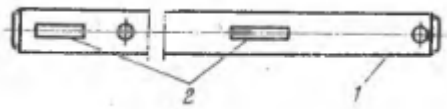
6,09	6,23	6,29	6,13	6,17	6,18	6,19	6,17	6,19	6,33
6,23	6,28	6,12	6,22	6,26	6,18	6,16	6,2	6,18	6,18
6,27	6,11	6,22	6,25	6,18	6,16	6,21	6,18	6,22	6,2
6,1	6,22	6,24	6,18	6,15	6,21	6,18	6,22	6,2	6,19
6,08	6,24	6,18	6,15	6,21	6,18	6,22	6,19	6,19	6,32

Материал — сталь В40 Х

Масса — 0,435 кг

Твердость — НВ 40...45.

Вариант 12. Рулевое управление трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Валик педалей 	1	Износ поверхности под педаль и сальник Скобы или микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø 25 -0,060 -0,095	24,82	24,75

Результаты измерений, мм

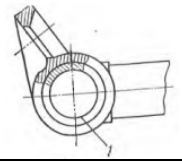
24,0	24,68	24,9	24,67	24,72	24,38	23,52	23,55	23,65	23,15
23,66	23,88	23,65	23,7	23,37	23,51	23,54	23,65	23,59	23,6
23,85	23,65	23,69	23,36	23,48	23,53	23,65	23,58	23,5	23,3
23,65	23,68	23,78	23,45	23,5	23,65	23,57	23,5	23,28	23,64
23,15	23,74	23,4	23,5	23,64	23,56	23,5	23,25	23,62	23,6

Материал — сталь 40 Х

Масса — 2,18 кг

Твердость НВ 255 ...302.

Вариант 13. Тормоза задние трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Рычаг 	1	Износ поверхности отверстия под валик Пробки или нутромер индикаторный

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø $25^{+0,052}$	25,18	25,25

Результаты измерений, мм

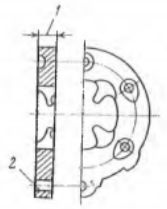
25,08	25,2	25,14	25,2	25,19	25,23	25,32	25,27	25,27	25,5
25,21	25,12	25,3	25,18	25,23	25,32	25,36	25,26	25,29	25,23
25,1	25,3	25,18	25,23	25,31	25,35	25,26	25,24	25,23	25,43
25,3	25,17	25,23	25,3	25,34	25,24	25,28	25,23	25,4	25,25
25,05	25,23	25,3	25,33	25,24	25,28	25,23	25,38	25,24	25,48

Материал — Сталь 3Сп3

Масса — 1,65 кг.

Вариант 14. Тормоза задние трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Диск	1	Износ диска по толщине

		Штангенциркуль

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$15_{-1,90}$	12,00	9,05

Результаты измерений, мм

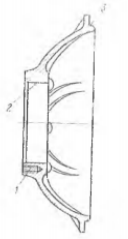
12,61	11,6	9,55	12,5	10,51	11,0	11,82	11,03	11,12	12,9
11,6	9,15	12,18	9,8	10,98	11,78	12,07	11,6	11,4	11,47
11,15	12,16	9,71	10,92	11,7	12,05	11,6	11,2	11,38	11,55
12,12	9,65	10,83	11,6	12,02	11,6	11,18	11,32	11,53	11,59
12,5	10,52	11,6	11,9	11,6	11,14	11,25	11,51	11,58	12,11

Материал — КЧ 35-10

Масса —1,94 кг

Твердость — НВ 197.

Вариант 15. Передний ведущий мост трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Крышка 	3	Износ поверхности под корпус редуктора Скобы

Размеры, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$Ø\ 298_{-0,1}$	297,80	297,70

Результаты измерений, мм

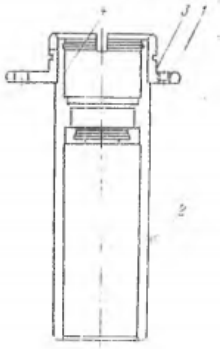
297,20	297,62	297,60	297,74	297,57	297,63	297,52	297,47	297,57
297,67	297,59	297,72	297,57	297,56	297,51	297,46	207,57	297,64
297,58	297,78	297,57	297,55	297,50	297,46	297,57	297,45	297,46
297,69	297,57	297,54	297,49	297,46	297,57	297,38	297,46	297,30
297,15	297,53	297,48	297,46	297,57	297,37	297,46	297,26	297,46
297,90	297,46	297,34	297,36	297,80	-	-	-	-

Материал – СЧ 20

Масса – 9,1 кг

Твердость - НВ 170…241.

Вариант 16. Передний ведущий мост трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Труба шкворня 	2	Износ поверхности под гильзу шкворня Скобы или микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
Ø 88 - 0,08 - 0,125	87,70	87,40

Результаты измерений, мм

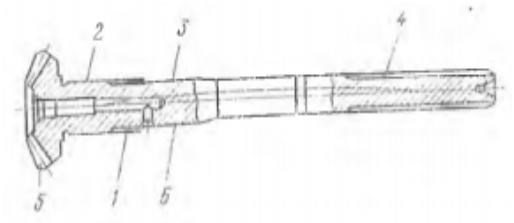
87,85	87,50	87,48	87,56	87,57	87,40	87,54	87,55	87,61	87,25
87,49	87,47	87,34	87,57	87,39	87,53	87,41	87,57	87,60	87,76
87,47	87,32	87,57	87,38	87,52	87,87	87,57	87,43	87,74	87,65
87,30	87,57	87,47	87,51	87,56	87,57	87,59	87,70	87,44	87,63
87,80	87,47	87,57	87,55	87,57	87,58	87,68	87,46	87,62	87,20

Материал: труба – сталь В45

Масса – 6,16 кг

Твердость - НВ 156 …229.

Вариант 17. Передний ведущий мост трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Вал 	4	Износ шлицев Микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
4 - 0,050 - 0,174	3,70	3,60

Результаты измерений, мм

3,81	3,74	3,71	3,53	3,47	3,48	3,60	3,62	3,52	3,31
3,58	3,70	3,40	3,50	3,46	3,59	3,66	3,59	3,64	3,56
3,68	3,39	3,49	3,44	3,59	3,65	3,59	3,52	3,55	3,58
3,38	3,48	3,51	3,59	3,63	3,59	3,51	3,54	3,58	3,57
3,80	3,51	3,59	3,61	3,59	3,51	3,53	3,57	3,56	3,30

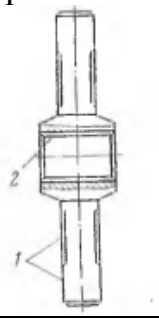
Материал – сталь 20 ХН3А

Масса – 2,31 кг

Твердость – цементировать h=1,0 …1,4 мм

поверхность шлицевой части вала HRC 32…45

Вариант 18. Задний мост трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Крестовина 	2	Износ шлицов по ширине пазов Микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$4{,}3^{+0{,}125}_{+0{,}045}$	4,60	4,85

Результаты измерений, мм

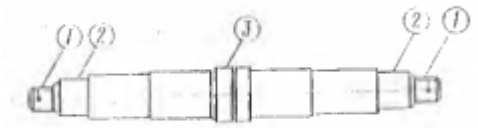
4,48	4,72	4,84	4,72	4,60	4,89	4,71	4,68	4,78	5,10
4,71	4,83	4,97	4,56	4,88	4,71	4,67	4,77	4,71	7,75
4,82	4,95	4,55	4,87	4,71	4,65	7,46	4,71	4,74	4,50
4,93	4,52	4,86	4,71	4,63	4,70	4,71	4,74	4,80	4,75
4,45	4,85	4,90	4,62	4,69	4,71	4,73	4,79	4,81	5,08

Материал – сталь 45

Масса – 1,57 кг

Твердость – НВ 255 …302.

Вариант 19. Навеска трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Ось крюка 	2	Износ поверхности под крюк Скобы или микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$Ø28_{-0,140}$	27,70	27,45

Результаты измерений, мм

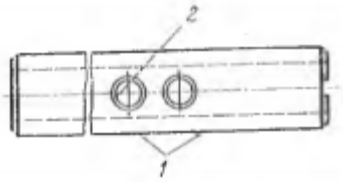
27,78	27,44	27,35	27,37	27,42	27,57	27,49	27,54	27,64	27,22
27,46	27,30	27,36	27,41	27,56	27,48	27,53	27,53	27,56	27,72
27,28	27,46	27,40	27,56	27,47	27,52	27,52	27,56	27,71	27,59
27,46	27,38	27,56	27,46	27,51	27,51	27,56	27,69	27,55	27,69
27,80	27,56	27,46	27,50	27,55	27,56	27,67	27,56	27,00	27,20

Материал – сталь 45

Масса – 2,8 кг

Твердость – НВ 255 …302.

Вариант 20. Передний мост трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Ось качания 	1	Износ поверхности под переднюю трубу оси качания и втулку Скобы или микрометр

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$Ø50_{-0,05}$	49,90	49,85

Результаты измерений, мм

49,92	49,75	49,50	49,61	49,74	49,80	49,77	49,69	49,74	49,52
49,81	49,53	49,67	49,74	49,65	49,76	49,68	49,73	49,78	49,87
49,55	49,67	49,74	49,64	49,74	49,67	49,72	49,69	49,80	49,71
49,67	49,74	49,63	49,74	49,67	49,71	49,68	49,84	49,80	49,79
49,90	49,62	49,74	49,67	49,70	49,73	49,82	49,78	49,79	49,50

Материал – сталь В45
Масса – 3,145 кг
Твердость – ТВЧ h 1,5 …3 мм HRC 50 min.

Заданные в карте исходных данных размеры детали $D_{изм.i}$ или $d_{изм.i}$ занести в таблицу 1 в порядке возрастания или убывания, т.е. расположить в вариационный ряд.

Вычислить величину износа детали (мм):

- для вала:

$$X_i = d_{н.\min} - d_{изм.i}, \qquad (1.1)$$

где $d_{н.\ \mathrm{m}}$ - номинальный минимальный размер детали по чертежу, мм;

$d_{изм.i}$ - измеренный с допускаемой погрешностью размер детали, мм.

- для отверстия:

$$X_i = D_{изм.i} - D_{н.\max}, \qquad (1.2)$$

где $D_{изм\ i}$- измеренный с допускаемой погрешностью размер детали, мм;

$D_{н.\max}$ - номинальный максимальный размер детали по чертежу, мм.

Составить сводную таблицу 1 (вариационный ряд) информации по износам детали X_i в порядке возрастания.

В том случае, если повторность исходной информации (число деталей) N не менее 20-25 для упрощения дальнейших расчетов составить статистический ряд информации.

Разбить информацию по износам на интервалы, количество которых определить по формуле:

$$n = \sqrt{N}, \qquad (1.3)$$

где N - количество измеренных деталей.

Таблица 1

Сводная ведомость по износам деталей, мм

	$D_{изм.i}$ или $d_{изм.i}$	X_i	$D_{изм.i}$ или $d_{изм.i}$	X_i	$D_{изм.i}$ или $d_{изм.i}$	X_i	$D_{изм.i}$ или $d_{изм.i}$	X_i	$D_{изм.i}$ или $d_{изм.i}$	X_i
1	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
2	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
3	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
4	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
5	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
6	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
7	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
8	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
9	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
10	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…

Определить величину интервала для составления статистического ряда:

$$\Delta X = \frac{X_{i.\max} - X_{i.\min}}{n}, \qquad (1.4)$$

где $X_{i.max}$, $X_{i.min}$ - наибольшее и наименьшее значение износа, соответственно, мм.

Для упрощения расчетов значение величины интервала округлить в большую сторону и принять кратным 10 или 2.

Определить начало первого интервала (величину смещения опытных данных или сдвиг износов) по формуле:

$$t_{см} = X_{\text{i.min}} - 0,5\Delta X, \qquad (1.5)$$

где $X_{i.min}$ - значение износа в первой точке информации (наименьшее значение износа), мм

При отрицательном значении $t_{см}$ принять его равным нулю. При распределении износов чаще всего принимают $t_{\text{см}}$= 0, т.е. сдвиг рассеивания отсутствует.

Установить середины интервалов $X_{ср.i}$.

Сгруппировать значения износов по интервалам и определить частоту $\boldsymbol{m_i}$ (количество измерений, приходящихся на каждый интервал).

Определить значение опытных вероятностей (частности) в каждом интервале по формуле:

$$P_i = \frac{m_i}{N}, \tag{1.6}$$

где m_i – опытная частота в i-том интервале.

Определить значения накопленных опытных вероятностей (экспериментальной функции распределения):

$$F^*(\mathrm{x}_i) = \sum P_i\ . \tag{1.7}$$

По результатам расчетов заполнить таблицу 2.

Таблица 2

Статистический ряд информации по износу деталей

Номер и величина интервала, мм	1	2	3	…	n	Контроль
Середина интервала, $X_{\text{ср}i}$	…	…	…	…	…	-
Частота, m_i	…	…	…	…	…	$\sum m_i = N$
Опытная вероятность, P_i	…	…	…	…	…	-
Накопленная опытная вероятность, P_i	…	…	…	…	…	$\sum P_i = 1$

1.1.2 Определение числовых характеристик износа (экспериментального распределения)

Вычислить среднюю величину износа (математическое ожидание) по формуле:

$$\mathrm{M[x]} = \sum X_{cp.i} \cdot P_i\ . \tag{1.8}$$

где $X_{\text{ср}i}$ – значение износа в середине интервала (середина i-го интервала), мм;

P_i - опытная вероятность в i-м интервале.

Определить среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\sum (X_{cp.i} - \mathrm{M[x]})^2 \cdot P_i}\,. \qquad (1.9)$$

Проверить статистические данные на наличие выпадающих точек по критерию Ирвина. Обычно проверяются крайние значения ($X_{\text{макс}}$, $X_{\text{мин}}$) путем их сравнения со смежными точками ($X_{\text{макс}-1}$, $X_{\text{мин}+1}$).

$$\lambda_{on} = \frac{X_{\max} - X_{\max-1}}{\sigma}; \lambda_{on} = \frac{X_{\min+1} - X_{\min}}{\sigma}, \qquad (1.10)$$

где X_i - смежные точки в сводной ведомости информации для наименьшего и наибольшего износов (таблица 1).

Если полученные значения коэффициента Ирвина меньше допустимых $\lambda_{\text{оп}} < \lambda_{\text{т}}$ (таблица П.1.1), то все результаты измерений достоверны с требуемой вероятностью. ли $\lambda_{\text{оп}} > \lambda_{\text{т}}$, то проверяемые (крайние) значения «выпадают» из общей выборки и должны быть исключены как недостоверные (ошибки измерений). В этом случае необходимо построить новый вариационный ряд (без выпавших точек) и вновь вычислить все числовые характеристики.

1.1.3 Графическое построение опытного распределения

Построить графики: полигон (плотность вероятности) и гистограмму распределения опытной вероятности P_i, при этом точки износа детали принять в середине каждого интервала $X_{cp.i}$ (рис. 1).

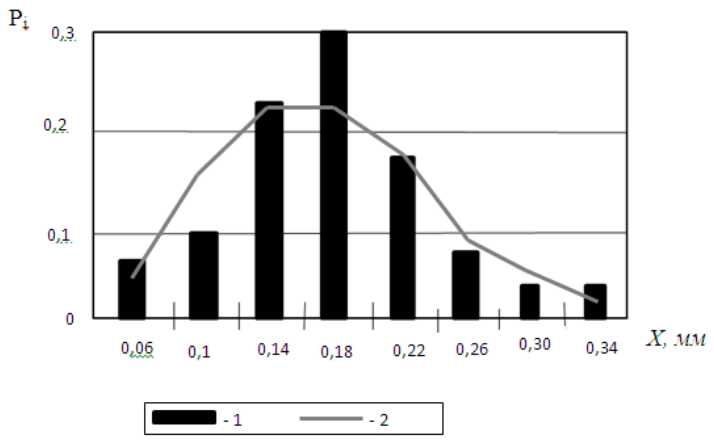


Рис. 1. Гистограмма (1) и плотность вероятностей (2) распределения износов деталей

Площадь каждого прямоугольника гистограммы (1) представляет собой опытную вероятность или количество деталей, у которых износ находится в данном интервале.

Построить ломаную кривую экспериментальной функции распределения износов накопленных вероятностей $F^*\ X_i$. Точки кривой накопленных вероятностей образуются пересечением абсциссы, равной концу данного интервала и ординаты, равной сумме вероятностей предыдущих интервалов (рис. 2).

Рис. 2. График экспериментальной функции распределения износов *F*(x)*

Гистограмма и полигон являются дифференциальными законами распределения случайной величины, а кривая накопленных опытных вероятностей – интегральным статистическим (опытным) законом распределения случайной величины.

1.1.4 Выбор теоретического закона распределения износов деталей

Определить по полученной информации теоретический закон распределения износов для генеральной совокупности машин, который выражает общий характер изменения износов и исключает частные отклонения вызванные разнообразием и непостоянством факторов, влияющих на работу машин.

Теоретический закон применим как к полной совокупности, так и к любой частной совокупности деталей данного наименования. Замена опытного закона распределения теоретическим называется выравниванием статистической информации.

Применительно к надежности сельскохозяйственной и другой техники используются в основном *закон нормального распределения (ЗНР)* и *закон распределения Вейбулла (ЗРВ)*

Предварительный выбор теоретического закона распределения *(ТЗР)* осуществляется по величине коэффициента вариации *v*.

$$v = \frac{\sigma}{M[x] - t_{см}}, \qquad (1.11)$$

Если v = 0,08…0,40, то распределение подчиняется ЗНР, если v = 0,33…6,0 – ЗВР. Если v находится в интервале от

0,33 до 0,5, то выбирается тот закон, который лучше совпадает с опытной информацией.

Рассчитать значения интегральной функции распределения износа детали *F(x)* по ЗНР и ЗВР.

Для ЗНР в таблице П.2.1. приведены значения для нормированного ($\sigma=1$) и центрированного ($M[x]=0$) распределения. С целью приведения исходных данных к нормированному и центрированному распределению необходимо вычислить вспомогательную переменную в конце i-го интервала по формуле:

$$X_{вi} = \frac{X_{кi} - M[x]}{\sigma}, \qquad (1.12)$$

где X_{ki} – значение износа в конце i-го интервала статистического ряда, мм;

M[x] – среднее значение износа, мм;

σ – среднее квадратическое отклонение, мм.

По величине вспомогательной переменной в таблице П.2.1. найти значения функции теоретического закона нормального распределения $F(x_{ki})$ в конце каждого интервала.

Следует помнить, что для отрицательных значений вспомогательной переменной интегральная функция равна:

$$F(-x) = 1 - F(x). \qquad (1.13)$$

Для ЗРВ значение вспомогательной переменной в конце i-го интервала определить по формуле:

$$X_{вi} = \frac{X_{кi} - t_{см}}{a}, \qquad (1.14)$$

где $t_{см}$ – величина смещения опытных данных, определенная по формуле (1.5);

a – параметр ЗРВ, определяемый по формуле:

$$a = \frac{M[x] - t_{см}}{K_b}, \tag{1.15}$$

где K_b – вспомогательный коэффициент ЗРВ, зависящий от величины коэффициента вариации v (таблица П.1.4).

Одновременно с коэффициентом K_b определить значение коэффициента формы – b.

По величине вспомогательной переменной и коэффициента формы в таблице П.2.2. найти значения функции теоретического закона Вейбулла $F(x_{ki})$ в конце каждого интервала.

Полученные значения интегральных функций записать в таблицу 3.

Определить разности между накопленной опытной вероятностью и значением теоретической интегральной функции распределения для ЗНР и ЗРВ по формуле:

$$\mathrm{D} = \sum P_i - \mathrm{F}(\mathrm{x}_{\mathrm{k}i}), \tag{1.16}$$

Занести полученные значения D в таблицу 3.

Произвести выбор теоретического закона распределения с помощью критерия согласия. Применительно к показателям надежности технических систем чаще всего используют критерий Пирсона (x^2) и D-критерий Колмогорова (λ). При выборе теоретического закона критической вероятностью совпадения принято считать $P=0,1$. Если $P < 0,1$, то выбранный для выравнивания опытной информации теоретический закон следует считать недействительным.

Таблица 3

Выбор теоретического закона распределения износов

Номер и величина интервала, мм		1 …	2 …	3 …	4 …	… …	N …
Конец интервала, мм		…	…	…	…	…	…
Накопленная опытная вероятность, P_i		…	…	…	…	…	…
ЗНР	Вспомогательная переменная, $X_{вi}$	…	…	…	…	…	…
	Теоретическая функция распределения, $F(x_{ki})$	…	…	…	…	…	…
	Разность, D	…	…	…	…	…	…
ЗРВ	Вспомогательная переменная, $X_{вi}$	…	…	…	…	…	…
	Теоретическая функция распределения, $F(x_{ki})$	…	…	…	…	…	…
	Разность, D	…	…	…	…	…	…

Критерий Пирсона дает более точную вероятность совпадения опытного и теоретического законов, но он сложен в расчетах. D-критерий Колмогорова прост в определении, но дает завышенную вероятность совпадения. Однако при выборе одного закона из двух или нескольких, когда важно, какой из них лучше выравнивает опытную информацию, возможно использование D-критерия Колмогорова.

Определить критерий согласия Колмогорова по формуле:

$$\lambda = \mathrm{D}_{\max} \cdot \overline{\mathrm{N}}, \qquad (1.17)$$

где D_{max} - максимальная абсолютная разность между накопленной опытной вероятностью и теоретической интегральной функцией распределения, т.е.

$$\mathrm{D}_{max} = max\ D\ . \qquad (1.18)$$

Принять для выравнивания опытной информации теоретический закон распределения, значение D-критерия Колмогорова для которого выше. Построить график выбранного теоретического закона распределения износа деталей (рис. 3).

Рис. 3. График функций распределения износов деталей

1.1.5 Определение доверительного интервала и относительной ошибки характеристик износа деталей

Изменение условий эксплуатации и количества машин, за которыми ведется наблюдение, вызывает изменение количественных характеристик показателей надежности. Данные изменения носят случайный характер, они проходят в определенных границах или в определенном (доверительном) интервале, в который попадают измеренные значения, соответствующие заданной доверительной вероятности α. Границы, в которых может находиться одиночное или среднее значение показателя надежности, называют нижней и верхней довери-

тельными границами.

Определить доверительные границы рассеивания среднего значения износа при доверительной вероятности α по формулам:

- для ЗНР:

$$X_{\alpha}^{н} = M[x] - t_{\alpha}\frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \qquad (1.19)$$

$$X_{\alpha}^{н} = M[x] - t_{\alpha}\frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \qquad (1.20)$$

где t_{α} – коэффициент Стьюдента, который определяется в зависимости от N и выбранной доверительной вероятности (таблица П.1.3).

- для ЗРВ:

$$X_{\alpha}^{н} = (\mathrm{M}[x] - t_{см}) \cdot \sqrt[b]{r_3} + \mathrm{t}_{см}, \qquad (1.21)$$

$$X_{\alpha}^{в} = (\mathrm{M}[x] - t_{см}) \cdot \sqrt[b]{r_1} + \mathrm{t}_{см}, \qquad (1.22)$$

где r_1, r_3 – коэффициенты для определения доверительных границ для ЗРВ (таблица П.1.3).

Сформулировать вывод по оценке границ доверительного интервала.

Определить относительную ошибку расчета характеристик износа по формуле:

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{X_{\alpha}^{в} - M[x]}{M[x]} \cdot 100\%, \qquad (1.23)$$

Значение допустимой относительной ошибки $\varepsilon_{\alpha} = 12\%$. Если полученное значение превышает 12%, то погрешность высокая и необходимо увеличить объем выборки N.

1.1.6 Распределение деталей по группам годности

Для определения количества годных деталей рассчитать износы деталей для допустимого и предельного состояния по формулам:

- для валов:

$$X_{доп} = d_{н.\min} - d_{доп}; \quad (1.24)$$

$$X_{пр} = d_{н.\min} - d_{пр}, \quad (1.25)$$

где $d_{н.\ \mathrm{m}}$ - номинальный минимальный размер детали по чертежу, мм;

$d_{доп}$, $d_{пр}$ – допустимый и предельный размер детали, мм;

- для отверстий:

$$X_{доп} = D_{доп} - D_{н.\max}; \quad (1.26)$$

$$X_{пр} = D_{пр} - D_{н.\max}, \quad (1.27)$$

где $D_{н.\max}$ - номинальный максимальный размер детали по чертежу, мм.

$D_{доп}$ и $D_{пр}$ – допустимый и предельный размер детали, мм.

На графике (рис. 3) отметить точки абсциссы, соответствующие номинальному $D_{ном}$, допустимому $D_{доп}$ и предельному $D_{пр}$ размерам детали. По значениям функции распределения в этих точках определить количество деталей (в долях совокупности или в процентах):

- годных для дальнейшего использования:

$$\gamma_{годн} = F(X_{доп}); \quad (1.28)$$

- достигших предельного состояния:

$$\gamma_{пр} = 1 - F(X_{пр}). \qquad (1.29)$$

Детали, снятые с машины, имеющие размеры больше допустимых $D_{доп}$ без ремонта, но не достигшие предельного состояния $D_{пр}$, обычно выбраковываются или направляются на восстановление. В этих случаях наблюдается недоиспользование ресурса деталей в пределах одного межремонтного периода, так как величина ($D_{пр}$ - $D_{доп}$) гарантирует наработку, равную ресурсу до очередного текущего ремонта $T_{мр}$.

Определить количество деталей с недоиспользованным ресурсом (в долях) как разность между значениями функций распределения в точках, соответствующих предельному и допустимому размерам деталей:

$$\gamma_{нр} = F(X_{пр}) - F(X_{доп}). \qquad (1.30)$$

Определить количество деталей в каждой группе, задаваясь программой условного ремонтного предприятия:

- годных деталей:

$$K_{годн} = П \cdot q \cdot \gamma_{годн}; \qquad (1.31)$$

- предельно изношенных деталей:

$$K_{пр} = П \cdot q \cdot \gamma_{пр}; \qquad (1.32)$$

- с недоиспользованным ресурсом:

$$K_{нр} = П \cdot q \cdot \gamma_{нр}; \qquad (1.33)$$

где $П$ – годовая программа условного ремонтного предприятия (количество ремонтируемых машин или агрегатов);

q – число деталей данного наименования, установленных на машине (агрегате).

Сформулировать общий вывод по результатам расчетов.

1.2 Логико-графический метод анализа надежности и риска

Логико-графические методы анализа надежности и риска включают построение дерева отказов (неисправностей) и дерева событий. В курсовой работе необходимо провести анализ возникновения аварийной ситуации и расчет ее вероятности методом построения дерева отказов, позволяющим выявить комбинации отказов (неполадок) оборудования, ошибок персонала и внешних (техногенных, природных) воздействий, приводящих к основному событию (аварийной ситуации).

Исходные данные к анализу надежности и риска логико-графическим методом включают 5 заданий, характеризующих различные опасные ситуации. В каждом задании имеется 4 варианта численных значений показателей. Номер варианта обучающийся выбирает по номеру в списке группы.

Задание 1. Расчет гибели судна при посадке на мель

Формулировка задания: Найти вероятность гибели судна при посадке на мель и риск гибели человека при профессиональной деятельности.

Описание причин возникновения опасной ситуации: Вероятность гибели судна $P_{г.с}$ (вентиль «*И*») определяется вероятностью возникновения аварийной ситуации $P_{а.с}$, гибели судна с угрозой для жизни человека при данном виде аварии

$P_{г.а}$ и отказом систем управления судном и обеспечения безопасности $P_{отк}$.

Вероятность возникновения аварийной ситуации $P_{а.с}$ («*И*») определяется возможной ошибкой экипажа $P_{ош}$, возможным наличием в районе плавания мелей $P_м$ и несоответствием осадки судна проходимым глубинам $P_г$ (табл. 4).

Таблица 4

Исходные данные для задания 1

Исходное событие		Значение вероятности по номерам вариантов			
наименование	обозначение	1	6	11	16
Наличие в районе плавания мелей	$P_м$	0,05	0,10	0,15	0,20
Несоответствие осадки судна проходимым глубинам	$P_г$	0,30	0,25	0,20	0,15
Недостаточная профессиональная подготовка экипажа	P_1	0,15	0,20	0,05	0,10
Несогласованность действий экипажа	P_2	0,10	0,15	0,20	0,25
Невнимательность экипажа	P_3	0,55	0,50	0,45	0,40
Наличие повреждения корпуса	$P_{п.к}$	0,40	0,35	0,30	0,25
Потеря плавучести или остойчивости	$P_{п.п}$	0,45	0,50	0,55	0,60
Безотказность работы навигационных приборов	$P_{н.п}$	0,55	0,50	0,45	0,40
Эффективность систем спасения судна	$P_{с.с}$	0,35	0,40	0,45	0,50
Воздействие опасных факторов с уровнями, смертельными для человека	$P_{с.у}$	0,65	0,60	0,55	0,50
Эффективность работы систем оповещения об аварии	$P_{оп}$	0,65	0,70	0,75	0,80
Степень удаления судна от береговой линии	$P_{уд}$	0,55	0,50	0,45	0,40
Неблагоприятные гидрометеоусловия	$P_{гм}$	0,75	0,70	0,65	0,60
Эффективность средств эвакуации и спасения	$P_{эв}$	0,30	0,35	0,40	0,45

Вероятность возможной ошибки экипажа $P_{ош}$ («*ИЛИ*») может определяться одной из следующих причин:

– недостаточной профессиональной подготовкой экипажа P_1;

– несогласованностью действий экипажа P_2;

– невнимательностью экипажа P_3.

Вероятность гибели судна с угрозой для жизни человека при данном виде аварии $P_{г.а}$ («*И*») определяется наличием повреждения корпуса $P_{п.к}$ и потерей плавучести или остойчивости $P_{п.п}$.

Вероятность отказа систем управления судном и обеспечения безопасности $P_{отк}$ («инвертор», «*И*») обусловлена безотказностью работы навигационных приборов $P_{н.п}$ и эффективностью систем спасения судна $P_{с.с}$.

Риск гибели человека R (вентиль «*И*») определяется вероятностью гибели судна при посадке на мель $P_{г.с}$, вероятностью воздействия опасных факторов с уровнями, смертельными для человека $P_{с.у}$, эффективностью работы систем оповещения об аварии («инвертор») $P_{оп}$, возможной степенью удаления судна от береговой линии («инвертор») $P_{уд}$, неблагоприятными гидрометеоусловиями $P_{гм}$ и эффективностью средств эвакуации и спасения («инвертор») $P_{эв}$.

Задание 2. Возникновение пожара в здании

Формулировка задания: Найти вероятность возникновения пожара в здании, вызванного нарушением правил эксплуатации кухонных плит, и риск гибели человека при непрофессиональной деятельности (таблица 5).

Описание причин возникновения опасной ситуации:

Вероятность возникновения пожара $P_п$ (вентиль «*И*») определяется вероятностью возникновения загорания в узле

Таблица 5

Исходные данные для задания 2

Исходное событие		Значение вероятности по номерам вариантов			
наименование	обозначение	2	7	12	17
Вероятность нахождения в узле количества вещества, которое представляет пожарную опасность	$P_в$	0,30	0,25	0,20	0,15
Вероятность перерастания загорания в пожар	$P_{пож}$	0,65	0,60	0,55	0,50
Вероятность образования в узле пожароопасной среды	$P_с$	0,45	0,40	0,35	0,30
Вероятность образования в узле горючей среды	$P_{г.с}$	0,35	0,20	0,30	0,25
Оставленная без присмотра включённая газовая плита	P_1	0,25	0,35	0,20	0,30
Расположение портьер и штор вблизи плиты	P_2	0,40	0,30	0,35	0,25
Перегрев пищевых масел	P_3	0,35	0,30	0,20	0,25
Степень безотказной работы системы обнаружения загорания	$P_{об}$	0,65	0,70	0,75	0,80
Вероятность безотказной работы установок пожаротушения	$P_{у.п}$	0,75	0,80	0,70	0,85
Эффективность безотказной работы установок пожаротушения	$P_{э.у}$	0,35	0,30	0,45	0,40
Вероятность воздействия опасных факторов пожара с уровнями, смертельными для человека	$P_{с.у}$	0,75	0,70	0,65	0,60
Эффективность применения простейших средств защиты и подручных средств эвакуации	$P_{п.с}$	0,35	0,40	0,45	0,30
Правильность действий при пожаре	$P_{пр.д}$	0,25	0,30	0,35	0,40
Эффективность эвакуации с помощью специальных средств	$P_{э.с}$	0,45	0,40	0,30	0,35

$P_{заг}$, нахождением в этом узле такого количества вещества, которое представляет пожарную опасность $P_в$, перерастанием загорания в пожар $P_{пож}$ и вероятностью отказа системы тушения пожара $P_{отк}$.

Вероятность возникновения загорания в узле $P_{заг}$ («*И*») определяется возможным возникновением ситуации, связанной с образованием в узле пожароопасной среды $P_с$, наличием источника возгорания $P_{вз}$ и возможностью того, что среда окажется горючей $P_{г.с}$. Вероятность наличия источника возгорания $P_{вз}$ («*ИЛИ*») может определяться одной из следующих причин, связанных с эксплуатацией кухонных плит.

– оставленная без присмотра включённая газовая плита P_1;

– расположение портьер и штор вблизи плиты P_2;

– перегрев пищевых масел P_3.

Вероятность $P_{отк}$ («инвертор»», «*И*») обусловлена степенью безотказной работы системы обнаружения загорания $P_{об}$, вероятностью безотказной работы установок пожаротушения $P_{у.п}$ и достаточной их эффективностью $P_{э.у}$.

Риск гибели человека R («*И*») определяется вероятностью возникновения пожара $P_п$, вероятностью воздействия опасных факторов пожара с уровнями, смертельными для человека $P_{с.у}$, эффективностью применения простейших средств защиты и подручных средств эвакуации («инвертор») $P_{п.с}$, правильностью действий при пожаре («инвертор»), $P_{пр.д}$ и эффективностью эвакуации с помощью специальных средств («инвертор») $P_{э.с}$.

Задание 3. Авария на химическом объекте

Формулировка задания: Найти вероятность аварии на химическом объекте и риск гибели человека при химическом

заражении сильно действующими ядовитыми веществами (СДЯВ) в непрофессиональной деятельности (таблица 6).

Описание причин возникновения опасной ситуации:

Вероятность химического заражения $P_{х.з}$ (вентиль «*И*») определяется вероятностью взрыва в аппарате $P_{взр}$, образования и распространения заражённого облака $P_{обл}$ до рассматриваемого объекта.

Вероятность $P_{взр}$ («*И*») определяется возможностью выхода параметров процесса за критические значения $P_{кр.з}$, отказом в системе контроля за параметрами процесса $P_{отк}$ и возможной потерей запаса прочности аппарата $P_{пр}$.

Вероятность $P_{кр.з}$ («*ИЛИ*») может определяться выходом за критические значения следующих параметров:

– температуры P_1;

– давления P_2;

– объёма рабочей среды P_3.

Вероятность $P_{отк}$ («инвертор»», «*И*») обусловлена безотказностью действия средств контроля за параметрами процесса $P_{с.}$ и средств противоаварийной защиты $P_{а.з}$.

Вероятность $P_{пр}$ («*ИЛИ*») определяется одной из следующих причин потери прочности в результате:

– коррозии P_4;

– механического износа P_5;

– нарушения прочности сварных швов P_6.

Вероятность $P_{обл}$ («*ИЛИ*») определяется:

– вероятностью возникновения характерного состояния атмосферы P_7 (инверсия, изотермия, конвекция), при котором объект попадает в зону химического заражения;

– вероятностью возникновения преобладающего направления ветра в зоне аварии P_8, опасного с точки зрения переноса заражённого облака до рассматриваемого объекта.

Таблица 6

Исходные данные для задания 3

Исходное событие		Значение вероятности по номерам вариантов			
наименование	обозначение	3	8	13	18
Критическое значение температуры	P_1	0,25	0,30	0,35	0,40
Критическое значение давления	P_2	0,65	0,60	0,55	0,50
Критическое значение объёма рабочей среды	P_3	0,10	0,05	0,20	0,15
Безотказность средств контроля за параметрами процесса	$P_{с.к}$	0,65	0,75	0,70	0,80
Безотказность средств противоаварийной защиты	$P_{а.з}$	0,75	0,85	0,90	0,80
Потеря прочности в результате коррозии	P_4	0,15	0,15	0,20	0,20
Потеря прочности в результате механического износа	P_5	0,65	0,70	0,65	0,70
Потеря прочности в результате нарушения прочности сварных швов	P_6	0,20	0,15	0,15	0,20
Вероятность попадания объекта в зону химического заражения	P_7	0,35	0,40	0,35	0,40
Вероятность возникновения преобладающего направления ветра в зоне аварии	P_8	0,65	0,60	0,55	0,50
Вероятность получения человеком поражающей токсодозы	$P_{тд}$	0,25	0,20	0,15	0,30
Эффективность надёжного оповещения об аварии	$P_{оп}$	0,90	0,85	0,80	0,90
Эффективность применения средств индивидуальной защиты	$P_{с.и.з}$	0,75	0,80	0,75	0,80
Возможность укрытия в убежище	$P_{уб}$	0,65	0,70	0,75	0,60
Возможность эвакуации населения	$P_{эв}$	0,65	0,60	0,75	0,70

Эти данные получают в результате прогнозирования химической обстановки.

Риск гибели человека R (вентиль «*И*») определяется вероятностью химического заражения $P_{х.з}$, вероятностью получения человеком поражающей токсодозы $P_{тд}$; эффективностью надёжного оповещения об аварии («инвертор») $P_{оп}$, применения средств индивидуальной защиты («инвертор»») $P_{с.и.з}$; возможностью укрытия в убежище («инвертор») $P_{уб}$ и эвакуации населения («инвертор») $P_{эв}$.

Задание 4. Взрыв в производственном помещении

Формулировка задания: Найти вероятность взрыва в производственном помещении и риск гибели человека (профессиональная деятельность):

а) при действии ударной волны в помещении, где произошёл взрыв;

б) действии ударной волны в соседних помещениях;

в) действии вторичного фактора − пожара, возникшего в результате взрыва (таблица 7).

Описание причин возникновения опасной ситуации:

Вероятность взрыва $P_{взр}$ (вентиль «*И*») определяется вероятностью образования взрывоопасной воздушной смеси $P_{в.с}$ и наличием источника зажигания $P_{и.з.}$

Вероятность образования взрывоопасной воздушной смеси $P_{в.с}$ («*И*») определяется вероятностью выхода параметров процесса за критические значения $P_{в.п}$, вероятностью создания взрывоопасной концентрации вещества $P_{в.к}$ и вероятностью $P_{отк}$, обусловленной степенью безотказности работы приборов и средств аварийной защиты. Вероятность $P_{в.п}$ («*ИЛИ*») может определяться выходом за критические значения следующих параметров:

– температуры P_1;

– давления P_2;

– объёма рабочей среды P_3.

Вероятность безотказности работы приборов и средств аварийной защиты $P_{отк}$ («инвертор», «*И*») обусловлена степенью безотказности приборов автоматического контроля за состоянием газовой среды $P_{а.к}$ и эффективностью работы аварийной вентиляции $P_{а.в}$.

Вероятность наличия источника зажигания $P_{и.з}$ («*ИЛИ*») может быть обусловлена следующими причинами:

– нарушением правил безопасности при выполнении сварочных и газорезательных работ P_4;

– неисправностью сварочного оборудования P_5;

– нарушением правил безопасности при хранении газовых баллонов P_6.

Таблица 7

Исходные данные для задания 4

Исходное событие		Значение вероятности по номерам вариантов			
наименование	обозначение	4	9	14	19
Вероятность создания взрывоопасной концентрации вещества	$P_{в.к}$	0,25	0,30	0,25	0,35
Критическое значение температуры	P_1	0,35	0,30	0,35	0,40
Критическое значение давления	P_2	0,40	0,50	0,55	0,45
Критическое значение объёма рабочей среды	P_3	0,25	0,10	0,20	0,15
Безотказность приборов автоматического контроля за состоянием газовой среды	$P_{а.к}$	0,65	0,75	0,70	0,80
Эффективность работы аварийной вентиляции	$P_{а.в}$	0,85	0,85	0,90	0,80
Нарушение правил безопасно-	P_4	0,30	0,25	0,20	0,35

сти при выполнении сварочных и газорезательных работ					
Неисправность сварочного оборудования	P_5	0,35	0,40	0,25	0,30
Нарушение правил безопасности при хранении газовых баллонов	P_6	0,35	0,25	0,15	0,20
Вероятность наличия количества взрывчатой смеси, создающего опасное избыточное давление	$P_р$	0,65	0,60	0,75	0,70
Вероятность нахождения человека в зоне опасного избыточного давления	$P_{изб}$	0,35	0,30	0,25	0,40
Вероятность наличия количества взрывчатой смеси, приводящего к разрушениям в соседних помещениях	$P_{р.с}$	0,55	0,50	0,45	0,40
Вероятность нахождения людей помещениях, попадающих в зону разрушений	$P_н$	0,55	0,45	0,50	0,60
Степень устойчивости помещений или зданий	$P_{уст}$	0,75	0,80	0,75	0,85
Вероятность возникновения пожара в результате взрыва	$P_{пож}$	0,85	0,70	0,75	0,80
Вероятность воздействия опасных факторов пожара с уровнями, смертельными для человека	$P_{с.у}$	0,70	0,65	0,60	0,75
Эффективность средств тушения пожара	$P_{с.т}$	0,65	0,70	0,75	0,60
Эффективность эвакуации людей	$P_{эв}$	0,50	0,60	0,55	0,65

Риск гибели человека R («*И*») от ударной волны в помещении, где произошёл взрыв, определяется вероятностью возникновения взрыва $P_{взр}$ (*ИСОДД*) и вероятностью действия смертельно поражающих факторов взрыва $P_{п.ф}$ («*И*»), которая, в свою очередь, определяется вероятностью наличия такого количества взрывчатой смеси, которое

создаёт опасное избыточное давление $P_р$, и вероятностью нахождения человека в зоне опасного избыточного давления $P_{изб}$.

Риск гибели человека R («*И*») от ударной волны и от разрушений в соседних помещениях и зданиях определяется вероятностью возникновения взрыва $P_{взр}$ и вероятностью действия смертельно поражающих факторов взрыва $P_{п.ф}$. Вероятность $P_{п.ф}$ («*И*») определяется вероятностью наличия такого количества взрывчатой смеси, которое приводит к разрушениям в соседних помещениях $P_{р.с}$, вероятностью нахождения людей в этих помещениях, попадающих в зону разрушений $P_н$, и степенью устойчивости этих помещений или зданий $P_{уст}$ («инвертор»).

Риск гибели человека от вторичного опасного фактора взрыва – пожара R («И») определяется вероятностью возникновения взрыва $P_{взр}$, вероятностью возникновения пожара в результате взрыва $P_{пож}$, вероятностью воздействия опасных факторов пожара с уровнями, смертельными для человека $P_{с.у}$, эффективностью средств тушения пожара $P_{с.т}$ («инвертор») и эффективностью эвакуации людей $P_{эв}$ («инвертор»).

Задание 5. Поражение человека электрическим током

Формулировка задания: Найти вероятность возникновения опасной ситуации при прикосновении человека к корпусу электрооборудования или бытового электроприбора при нарушении изоляции и пробое фазы на корпус и риск гибели человека, по величине которого определить степень безопасности, считая деятельность профессиональной (вариант а) и непрофессиональной (вариант б) (таблица 8).

Описание причин возникновения опасной ситуации:

Вероятность возникновения опасной ситуации при при-

косновении человека к корпусу электрооборудования $P_{о.с}$ (вентиль «*И*») определяется вероятностью прикосновения к корпусу $P_{пр}$, вероятностью нахождения корпуса под напряжением $P_н$ и вероятностью отказа систем защиты $P_{отк}$.

Таблица 8

Исходные данные для задания 5

Исходное событие		Значение вероятности по номерам вариантов			
наименование	обозначение	5	10	15	20
Неосторожность	P_1	0,25	0,30	0,25	0,35
Случайность	P_2	0,35	0,30	0,35	0,40
Нарушение правил электробезопасности и инструкций по эксплуатации	P_3	0,40	0,30	0,35	0,45
Высокие пусковые токи	P_4	0,25	0,10	0,20	0,15
Механические повреждения изоляции	P_5	0,65	0,55	0,70	0,60
Естественное старение изоляции	P_6	0,85	0,75	0,90	0,80
Эффективность срабатывания защиты	$P_{защ}$	0,30	0,25	0,20	0,35
Вероятность нахождения человека под током длительное время, превышающее допустимое	$P_{вр}$	0,80	0,70	0,85	0,75
Вероятность неблагоприятного воздействия психофизиологических факторов	$P_{п.ф}$	0,65	0,60	0,75	0,70
Эффективность применения средств первой помощи при поражении электрическим током	$P_{п.п}$	0,50	0,60	0,55	0,65
Вероятность снижения сопротивления тела человека	$P_{с.ч}$	0,35	0,30	0,25	0,40
Вероятность снижения сопротивления пола	$P_{с.п}$	0,35	0,30	0,45	0,40
Вероятность снижения сопротивления обуви	$P_{с.об}$	0,75	0,70	0,65	0,60

Вероятность прикосновения человека к корпусу элек-

трооборудования $P_{пр}$ («ИЛИ») может быть обусловлена одной из следующих причин:

– неосторожностью P_1;

– случайностью P_2;

– нарушением правил электробезопасности и инструкций по эксплуатации P_3.

Вероятность нахождения корпуса электрооборудования под напряжением $P_н$ («*ИЛИ*») обусловлена нарушением изоляции в результате действия следующих причин:

– высокие пусковые токи P_4;

– механические повреждения P_5 ;

– естественное старение изоляции P_6.

Вероятность отказа систем защиты $P_{отк}$ («инвертор») обусловлена эффективностью срабатывания защиты (зануление или защитное отключение) $P_{защ}$.

Риск гибели человека при поражении электрическим током R («*И*») обусловлен вероятностью возникновения опасной ситуации $P_{о.с}$, прохождением через человека смертельно опасного тока $P_{о.т}$, вероятностью нахождения человека под током длительное время, превышающее допустимое $P_{вр}$, вероятностью неблагоприятного воздействия психофизиологических факторов $P_{п.ф}$ и эффективностью применения средств первой помощи при поражении электрическим током («инвертор») $P_{п.п}$.

Вероятность прохождения через человека смертельно опасного тока $P_{о.т}$ («*И*») обусловлена вероятностью снижения сопротивления тела человека $P_{с.ч}$, сопротивления пола $P_{с.п}$ и обуви $P_{с.об}$ до значений, которые в сумме приведут к появлению смертельно опасного тока.

1.2.1 Построение дерева отказов

Построение и анализ дерева отказов проводят независимо или совместно с другими методами анализа безотказности. Анализ позволяет:

- установить причины или сочетание причин, приводящих к завершающему событию;
- определить соответствие безотказности конкретной системы заданным требованиям;
- определить виды возможных отказов или факторов, вносящих наибольший вклад в вероятность отказа системы или в вероятность ее неготовности (в случае восстанавливаемой системы) для выявления возможности улучшения безотказности системы;
- сравнить различные варианты конструкции для улучшения безотказности системы;
- определить возможные виды отказов, которые могут влиять на безопасность системы, оценить соответствующие вероятности их появления и возможности их уменьшения;
- найти события или сочетания событий, которые наиболее вероятно вызовут развитие завершающего события;
- оценить влияние первичного события на вероятность завершающего события;
- рассчитать вероятности событий, готовность системы и интенсивности отказов ее компонентов, представленных деревом отказов (при наличии необходимых данных).

Методика построения дерева отказов включает ряд этапов:

1. В соответствии с вариантом задания по описанию ситуации определить аварийное конечное (предельно опасное, головное) событие, которое образует вершину дерева отка-

зов. Это событие четко сформулировать, привести признаки его точного распознавания. Если конечное событие сразу определить не удается, то выполнить прямой анализ работы объекта с учетом изменения состояния работоспособности, ошибок операторов и т.п. Перечислить возможные отказы, рассмотреть их комбинации, выявить последствия этих событий (данный этап приведен в задании на выполнение курсовой работы).

2. Построить структурную схему «дерево отказов», используя стандартные символы событий и логические символы (таблица 9), в соответствии со следующими правилами:

- расположить конечное (головное) событие, установленное в п. 1, вверху;
- установить события на различных уровнях (отказы, ошибки, неправильные действия человека и т.п.), которые могут привести к конечному событию;
- события, выявленные в пунктах *а* и *б*, поместить в прямоугольники и дать описание в них;
- выявить первичные (исходные) события, обозначить их окружностями и расположить на нижнем уровне;
- образовать последовательности событий верхнего уровня с событием (событиями) нижнего уровня с помощью логических знаков «И», «ИЛИ» и других;
- повторить пункты *б-д*, пока не будет достигнут уровень базовых (исходных) событий, т.е. событий, происходящих спонтанно, без видимых для человека причин.

3. Аналогично построить структурную схему риска гибели человека.

Таблица 9

Символы «дерева отказов»

Символ	Функция	Описание
	Блок описания события	Результирующее событие, наступает в результате конкретной комбинации событий другого уровня. Наименование или описание события, и вероятность его появления (по мере необходимости) должны быть включены в рамку символа.
	Базовое (исходное) событие	Событие, которое не может быть подразделено, означает первичный отказ или неисправность элемента, обеспечено достаточными данными
* И	Вентиль[1] «И»	Событие происходит только в том случае, если одновременно происходят все составляющие события.
≥1 или	Вентиль «ИЛИ»	Событие происходит только в том случае, если происходит любое из составляющих событий либо в единственном числе, или в любом их сочетании.
	Неполное (неразвитое) событие	Событие (отказ, неисправность), причины которого выявлены не полностью, например, из-за отсутствия информации.
	Вентиль «НЕ», инвертор[2]	Выходное событие наступает, если не наступает входное событие.

Примечание:

[1] вентиль - символ, показывающий логическую связь входных событий, выходных событий и завершающего события;

[2] инвертор - самый простой логический элемент «НЕ», выполняющий простейшую логическую функцию — инвертирование, то есть изменение уровня входного сигнала на противоположный.

1.2.2 Количественный анализ дерева отказов

При количественном исследовании дерева отказов рассчитать вероятность появления аварии в течение задаваемого интервала времени по всем возможным маршрутам. При расчете вероятности возникновения аварии необходимо учитывать применяемые логические знаки. Вероятность $P(B)$ выходного события B при независимости входящих событий A_1, A_2, ..., A_n определяют по формулам:

1. При знаке «И» результирующее событие B происходит тогда и только тогда, когда происходят сразу все события A_i (и A_1, и A_2, ..., и A_n)

$$P(\mathrm{B}) = \prod_{i=1}^{n} P(A_i) \,. \tag{1.34}$$

2. При знаке «ИЛИ» результирующее событие B происходит даже тогда, когда происходит хотя бы одно из событий A_i (или A_1, или A_2, ..., или A_n)

$$P(\mathrm{B}) = 1 - \prod_{i=1}^{n} 1 - P(A_i) \,. \tag{1.35}$$

С учетом приведенных формул составить зависимости по расчёту вероятности возникновения опасной ситуации и риска гибели человека. По исходным данным выполнить расчёт и найти численное значение вероятности возникновения опасной ситуации P и риска гибели человека R.

Сравнить вероятность возникновения опасной ситуации с значениями, приведенными в матрице «частота - тяжесть последствий» (таблица 10).

Таблица 10

Матрица «частота - тяжесть последствий»

Частота возникновения событий, год$^{-1}$		Тяжесть последствий событий			
		катастрофическое событие	критическое событие	некритическое событие	событие с пренебрежимо малыми последствиями
Частое событие	>1	А	А	А	С
Вероятное событие	$1 - 10^{-2}$	А	А	В	С
Возможное событие	$10^{-2} - 10^{-4}$	А	В	В	С
Редкое событие	$10^{-4} - 10^{-6}$	А	В	С	Д
Практически невероятное событие	$<10^{-6}$	В	С	С	Д

Рекомендуемая градация событий по тяжести последствий:

- катастрофическое событие - приводит к нескольким смертельным исходам для персонала, полной потере объекта, невосполнимому ущербу окружающей среде;
- критическое событие - угрожает жизни людей, приводит к существенному ущербу имуществу и окружающей среде;
- некритическое событие - не угрожает жизни людей, возможны отдельные случаи травмирования людей, не приводит к существенному ущербу имуществу или окружающей среды;

- событие с пренебрежимо малыми последствиями - событие, не относящееся по своим последствиям ни к одной из первых трех категорий.

Градация событий по уровням:

- А - риск выше допустимого, требуется разработка дополнительных мер безопасности;
- В - риск ниже допустимого при принятии дополнительных мер безопасности;
- С - риск ниже допустимого при осуществлении контроля принятых мер безопасности;
- Д - риск пренебрежимо мал, анализ и принятие дополнительных мер безопасности не требуется.

В выводах результаты расчёта риска гибели человека сравнить с приемлемым риском для непрофессиональной деятельности ($R<10^{-6}$), а для профессиональной деятельности определить категорию по критерию безопасности:

Профессиональная деятельность при значении риска:

$R_{ср} < 10^{-4}$ - безопасная;

$R_{ср} = 10^{-4}\ldots10^{-3}$ - относительно безопасная;

$R_{ср} = 10^{-3}\ldots10^{-2}$ - опасная;

$R_{ср} > 10^{-2}$ - особо опасная.

Указать также, на какие причины, формирующие вероятности безотказной работы систем спасения человека $P_{отк}$ и R, прежде всего необходимо повлиять, чтобы уменьшить риск гибели человека.

2 СТРУКТУРА, ОФОРМЛЕНИЕ И ОЦЕНКА КУРСОВЫХ РАБОТ

Курсовую работу обучающиеся выполняют согласно учебному плану в соответствии с предложенной ***структурой:***

1. Пояснительная записка:

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- список использованных источников;
- приложения (по наличию).

2. Графическая часть – лист формата А1, на котором должны быть представлены:

- для статистического анализа износов деталей:
  - карта исходных данных;
  - таблица 1. Сводная ведомость по износам деталей;
  - таблица 2. Статистический ряд информации по износу деталей;
  - рисунок 1. Гистограмма и плотность вероятностей распределения износов деталей;
  - таблица 3. Выбор теоретического закона распределения износов;
  - рисунок 3. График функций распределения износов деталей.
- для логико-графического метода анализа надежности и риска:
  - схемы дерева отказов и риска гибели человека;
  - формулы для расчёта вероятности возникновения опасной ситуации и риска гибели человека.

Титульный лист курсовой работы оформить по образцу (приложение 4).

Во введении следует отразить актуальность, цель и задачи курсовой работы, теоретическую и практическую значимость полученных результатов;

В основной части необходимо включить исходные данные, расчетную часть и выводы по разделам;

Список использованных источников должен включать все материалы, которые были изучены при исследовании темы курсовой работы, даже если в работе отсутствуют ссылки на них.

Приложения включают образцы документов, с которыми обучающийся непосредственно работал в процессе написания курсовой работы.

Оформление текста курсовой работы должно соответствовать общим требованиям к текстовым документам, установленным ГОСТ 7.32-2017. Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

Список использованных источников формируют в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Приложения оформляют как продолжение работы на последующих листах. На все приложения должны быть ссылки в тексте курсовой работы, например, «… в соответствии с приложением 2». Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте работы, нумеруют арабскими цифрами. Каждое приложение следует начинать с новой страницы.

Сдача и оценка курсовых работ.

Обучающиеся заочной формы обучения в соответствии с «Положением о порядке регистрации и проверки контрольных, курсовых работ (проектов) и отчетов по практике обучающихся по заочной форме ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ» должны выполнить и сдать курсовые работы на проверку на кафедру БЖД не позднее чем за 20 календарных дней на начала очередной промежуточной аттестации (сессии).

Для обучающихся очной формы обучения срок предоставления курсовой работы аналогичен.

Критерии оценки уровня сформированности компетенций при выполнении курсовой работы:

- оценка «отлично»: продемонстрировано блестящее владение проблемой исследования, материал выстроен логично, последовательно, обучающийся аргументированно отстаивает свою точку зрения. Во введении приводится обоснование выбора конкретной темы, чётко определены цель и задачи работы (проекта). Использован достаточный перечень источников и литературы для методологической базы исследования. Обучающийся грамотно использует профессиональные термины, актуальные исходные данные. Проведен самостоятельный анализ (исследование) объекта. По результатам работы сделаны логичные выводы. Оформление работы соответствует методическим рекомендациям. Объем и содержание работы соответствует требованиям. На защите обучающийся исчерпывающе отвечает на все дополнительные вопросы;

- оценка «хорошо»: обучающийся демонстрирует повышенный уровень владения проблемой исследования, логично, последовательно и аргументированно отстаивает ее концептуальное содержание. Во введении содержатся не-

большие неточности в формулировках цели, задач. В основной части допущены незначительные погрешности в расчетах (в исследовании). Выводы обоснованы, аргументированы. Оформление работы соответствует методическим рекомендациям. Объем работы соответствует требованиям. На защите обучающийся отвечает на все дополнительные вопросы;

- оценка «удовлетворительно»: обучающийся демонстрирует базовый уровень владения проблемой исследования. Во введении указаны цель и задачи исследования, но отсутствуют их четкие формулировки. Работа является компиляцией чужих исследований с попыткой формулировки собственных выводов в конце работы. Изложине материала логично и аргументировано. Наблюдается отступление от требований в оформлении и объеме работы. При ответе на вопросы обучающийся испытывает затруднения;

- оценка «неудовлетворительно»: обнаруживается несамостоятельность выполнения курсовой работы, некомпетентность в исследуемой проблеме. Нарушена логика изложения. Работа не соответствует требованиям, предъявляемым к оформлению и содержанию. На защите курсовой работы обучающийся не отвечает на вопросы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических указаниях представлены методические основы выполнения курсовых работ по дисциплине «Надежность технических систем и техногенный риск».

Методические указания предназначены для обеспечения условий успешной подготовки обучающихся к выполнению и написанию курсовой работы и основаны на принципах научного, системного изучения методологии научных исследований в техносферной безопасности.

Исследование понятийного аппарата в рамках выполнения теоретической части курсовой работы на базе рекомендованных для изучения источников позволяет сформировать и закрепить полученные знания, умения, навыки, соответствующие современному уровню развития теории и практики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении Руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» : Приказ Ростехнадзора от 11.04.2016 N 144. // СПС Консультант Плюс. - URL: http://www.consultant.ru/.

2. ГОСТ Р 27.302-2009 Национальный стандарт РФ. Надежность в технике. Анализ дерева неисправностей : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. N 1249-ст. // СПС Консультант Плюс. – URL: http: // consultant.ru.

3. ГОСТ 7.32-2017. Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления : приказ Росстандарта от 24.10.2017 № 1494-ст. // СПС Консультант Плюс. - URL: http://www.consultant.ru/.

4. ГОСТ Р 7.0.100-2018. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу (СИБИД). Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 03.12.2018 N 1050-ст. // СПС Консультант Плюс. - URL: http://www.consultant.ru/.

5. Гуськов, А. В. Надежность технических систем и техногенный риск : учебное пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский. — Новосибирск : НГТУ, 2016. — 424 с. // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/118090. — Режим доступа: для авториз. пользователей ; текст : электронный.

6. Каракеян, В. И. Безопасность жизнедеятельности : учебник и практикум для вузов / В. И. Каракеян, И. М. Никулина. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 313 с. // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/468409. — Режим доступа: для авториз. пользователей ; текст : электронный.
7. Лисунов Е.А. Практикум по надежности технических систем: Учебное пособие. - 2-е изд., испр. и доп. – Спб.: Изд-во Лань, 2015. – 240 с.
8. Оценка износа деталей статистическим методом (массовым микрометражем): методические указания к лабораторной работе по курсу «Надежность и ремонт машин» / Ю.Е. Куимов. - Пермь, ПГСХА, 2000. – 22 с.

ЭЛЕКТРОННЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. Электронный каталог библиотеки Пермского ГАТУ: базы данных, содержащие сведения о всех видах литературы, поступающей в фонд библиотеки Пермского ГАТУ : [сайт]. – Пермь, 2005 – . – URL: https://pgsha.ru/generalinfo/library/webirbis/.
2. Электронная библиотека / Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова : [сайт]. – Пермь, 2014– . – URL: https://pgsha.ru/generalinfo/library/elib/.
3. ConsultantPlus (КонсультантПлюс) : компьютерная справочно-правовая система. – Москва, 1992– . – Режим доступа: для авторизированных пользователей.
4. eLIBRARY.RU : научная электронная библиотека : [сайт]. – Москва, 2000– . –URL: http://elibrary.ru/. – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
5. Polpred.com (Полпред.ком) : электронно-библиотечная система: [сайт]: [доступ к электронным изданиям «Агропром в РФ и за рубежом»].– Москва, 2007– . –URL: https://polpred.com/. – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
6. Библиокомплектатор : электронно-библиотечная система : [сайт]: [коллекции «Информатика и вычислительная техника», «Геодезия. Землеустройство», «Технические науки»].– Саратов, 2012– . –URL: http://www.bibliocomplectator.ru/. – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
7. Гребенникон: электронная библиотека: [сайт].– Москва, 2011–. –URL: http://grebennikon.ru. – Режим доступа: для за-

регистрированных пользователей.

8. Лань :электронно-библиотечная система : [сайт]: [коллекции «Ветеринария и сельское хозяйство», «Лесное хозяйство и лесоинженерное дело», «Инженерно-технические науки», «Информатика», «Технологии пищевых производств»].– Санкт-Петербург, 2011– . –URL: http://e.lanbook.com/. – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

9. Руконт : национальный цифровой ресурс: межотраслевая электронная библиотека : [сайт] : [коллекции «Электронная библиотека авторефератов диссертаций ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева», «Сельское хозяйство. Лесное дело»]. – Москва, 2013– . –URL: https://lib.rucont.ru/search. – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

10. Юрайт : электронно-библиотечная система: [сайт].– Москва, 2013– . –URL:https://urait.ru/.– Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

11. Сетевая электронная библиотека (СЭБ) : [сайт]. – Санкт-Петербург, 2020 – . –URL: http://e.lanbook.com/. – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

Архив КОНТРАКТОВ на предоставление доступа к электронно-библиотечным системам представлен на сайте Университета (https://pgsha.ru/generalinfo/library/ accreditation/**).**

Приложение 1

Значения коэффициентов и критериев

Таблица П.1.1

Коэффициент Ирвина (λ_t)

Повторность информации *N*	10	20	30	50	100	400
λ_t при α = 0,95	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
λ_t при α = 0,99	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3

Таблица П.1.2

Критерии Колмогорова Р(λ)

λ	Р(λ)	λ	Р(λ)	λ	Р(λ)
0,0	1,000	0,7	0,711	1,4	0,04
0,1	1,000	0,8	0,544	1,5	0,022
0,2	1,000	0,9	0,393	1,6	0,012
0,3	1,000	1,0	0,270	1,7	0,006
0,4	0,997	1,1	0,178	1,8	0,003
0,5	0,967	1,2	0,112	1,9	0,002
0,6	0,864	1,3	0,068	2,0	0,001

Таблица П.1.3

Коэффициенты Стьюдента t_α, r_1 и r_3 для двусторонних доверительных границ

N	α = 0,80			α = 0,90			α = 0,95		
	t_α	r_1	r_3	t_α	r_1	r_3	t_α	r_1	r_3
10	1,38	1,63	0,70	1,83	1,83	0,64	2,26	2,09	0,59
15	1,35	1,46	0,74	1,76	1,62	0,68	2,15	1,79	0,64
20	1,33	1,37	0,77	1,73	1,57	0,72	2,09	1,64	0,67
25	1,32	1,33	0,79	1,71	1,44	0,74	2,06	1,55	0,70
30	1,31	1,29	0,80	1,70	1,39	0,76	2,04	1,48	0,72
40	1,30	1,24	0,83	1,68	1,32	0,78	2,02	1,40	0,75
50	1,30	1,21	0,84	1,68	1,28	0,80	2,01	1,35	0,77
60	1,30	1,19	0,86	1,67	1,25	0,82	2,00	1,31	0,79
80	1,29	1,16	0,87	1,66	1,21	0,84	1,99	1,27	0,81
100	1,29	1,14	0,88	1,66	1,19	0,86	1,98	1,23	0,83

Таблица П.1.4.

Значения параметров и коэффициентов распределения Вейбулла

Коэффициент вариации v	Коэффициент формы b	Вспомогательные коэффициенты		Коэффициент асимметрии S_b
		K_b	C_b	
1	2	3	4	5
5,40	0,3	9,245	50.00	+28,33
3,14	0,4	3,323	10,45	+11,35
2,36	0,5	2,000	4,47	+6,61
1,75	0,6	1,505	2,64	+4,59
1,46	0,7	1,266	1,85	+3,49
1,26	0,8	1,133	1,42	+2,81
1,11	0,9	1,073	1,19	+2,34
1.00	1,0	1,000	1,00	+2,00
0,91	1,1	0,965	0,87	+1,73
0,83	1,2	0,941	0,78	+1,52
0,77	1,3	0,924	0,71	+1,34
0,72	1,4	0,911	0,66	+1,19
0,67	1,5	0,903	0,61	+1,07
0,64	1,6	0,897	0,57	+0,96
0,60	1,7	0,892	0,54	+0,86
0,57	1,8	0,889	0,51	+0,77
0,54	1,9	0,887	0,48	+0,70
0,52	2,0	0,886	0,46	+0,63
0,50	2,1	0,886	0,44	+0,56
0,48	2,2	0,886	0,42	+0,50
0,46	2,3	0,886	0,40	+0,45
0,44	2,4	0,886	0,39	+0,40
0,42	2,5	0,887	0,38	+0,40
0,41	2,6	0,888	0,36	+0,31
0,39	2,7	0,889	0,35	+0,27
0,38	2,8	0,890	0,34	+0,23
0,37	2,9	0,891	0,33	+0,20

Продолжение таблицы П.1.4

1	2	3	4	5
0,36	3,0	0,893	0,32	+0.16
0,34	3.2	0,896	0,30	+0,10
0,32	3,4	0,898	0,29	+0,05
0,30	3,6	0,899	0,27	+0,00
0,29	3,8	0,904	0,25	-0,04
0,28	4,0	0,906	0,25	-0,08
0,25	4,5	0,913	0,23	-0,17
0,22	5,0	0,918	0,21	-0,25
0,19	6,0	0,928	0,18	-0,37
0,16	7,0	0,935	0,15	-0,46
0,14	8,0	0,942	0,14	-0,53

Приложение 2

Значения функций законов теоретического распределения

Таблица П.2.1

Значения функции *F(x)* нормального распределения

X_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,500	0,504	0,508	0,512	0,516	0,520	0,524	0,528	0,532	0,536
0,1	0,540	0,544	0,548	0,552	0,556	0,560	0,564	0,567	0,571	0,575
0,2	0,580	0,583	0,587	0,591	0,595	0,599	0,603	0,606	0,610	0,614
0,3	0,618	0,622	0,625	0,629	0,633	0,637	0,641	0,644	0,648	0,652
0,4	0,655	0,659	0,663	0,666	0,670	0,674	0,677	0,681	0,684	0,688
0,5	0,692	0,695	0,699	0,702	0,705	0,709	0,712	0,716	0,719	0,722
0,6	0,726	0,729	0,732	0,736	0,739	0,742	0,745	0,749	0,752	0,755
0,7	0,758	0,761	0,764	0,767	0,770	0,773	0,776	0,779	0,782	0,785
0,8	0,788	0,791	0,794	0,797	0,799	0,802	0,805	0,808	0,811	0,813
0,9	0,816	0,819	0,821	0,824	0,826	0,829	0,831	0,834	0,837	0,839
1,0	0,841	0,844	0,846	0,849	0,851	0,853	0,855	0,858	0,860	0,862
1,1	0,864	0,867	0,869	0,871	0,873	0,875	0,877	0,879	0,881	0,883
1,2	0,885	0,887	0,889	0,891	0,893	0,894	0,896	0,898	0,899	0,902
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9132	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319

Продолжение таблицы П.2.1

X_i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9430	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9485	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	9,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	9,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9762	0,9767
2,0	0,9773	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9825	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9865	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9899	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9924	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,99379	0,99396	0,99413	0,99430	0,99446	0,99461	0,99477	0,99491	0,99506	0,99520
2,6	0,99534	0,99547	0,99560	0,99573	0,99586	0,99598	0,99609	0,99621	0,99632	0,99643
2,7	0,99653	0,99664	0,99674	0,99683	0,99693	0,99702	0,99711	0,99720	0,99728	0,99737
2,8	0,99745	0,99752	0,99760	0,99767	0,99774	0,99781	0,99788	0,99795	0,99801	0,99807
2,9	0,99813	0,99819	0,99825	0,99831	0,99836	0,99841	0,99846	0,99851	0,99856	0,99860
3,0	0,99865	0,99869	0,99874	0,99878	0,99882	0,99886	0,99889	0,99893	0,99897	0,99900

Таблица П.2.2

Значения функции *F(x)* распределения Вейбулла

$\frac{X-t_{см}}{a}$	b=0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
0,1	0,27	0,18	0,12	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
0,2	0,36	0,28	0,21	0,18	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06	0,05
0,3	0,29	0,35	0,29	0,26	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11
0,4	0,47	0,41	0,35	0,33	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18
0,5	0,51	0,46	0,41	0,39	0,35	0,33	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25
0,6	0,54	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33
0,7	0,57	0,54	0,52	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,41
0,8	0,59	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49
0,9	0,61	0,60	0,60	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56
1,0	0,63	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70
1,2	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75
1,3	0,68	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80

Продолжение таблицы П.2.2

$\frac{X-t_{см}}{a}$	b=0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
1,4	0,69	0,72	0,74	0,75	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84
1,5	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
1,6	0,72	0,75	0,78	0,80	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90
1,7	0,73	0,77	0,80	0,82	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93
1,8	0,74	0,78	0,82	0,84	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
1,9	0,75	0,79	0,83	0,85	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96
2,0	0,76	0,80	0,85	0,87	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
2,1	0,77	0,81	0,86	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
2,2	0,77	0,82	0,87	0,89	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98
2,3	0,78	0,83	0,88	0,90	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99
2,4	0,78	0,84	0,89	0,91	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
2,5	0,79	0,85	0,90	0,92	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
2,6	0,80	0,86	0,91	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,0
2,7	0,81	0,87	0,91	0,93	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,0	1,0
2,8	0,81	0,87	0,92	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,0	1,0
2,9	0,82	0,88	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0

Продолжение таблицы П.2.2

$\frac{X-t_{см}}{a}$	b=0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
3,0	0,83	0,89	0,93	0,95	0,98	0,99	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0
3,5	0,85	0,91	0,95	0,96	0,99	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0
4,0	0,87	0,93	0,97	0,98	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$\frac{X-t_{см}}{a}$	**b=1,9**	**2,0**	**2,1**	**2,2**	**2,3**	**2,4**	**2,5**	**2,6**	**2,7**	**2,8**	**2,9**
0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
0,3	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
0,4	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07
0,5	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13
0,6	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20
0,7	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30
0,8	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,41
0,9	0,56	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73
1,2	0,76	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82

Продолжение таблицы П.2.2

$\frac{X-t_{см}}{a}$	b=1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
1,3	0,81	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88
1,4	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,93
1,5	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96
1,6	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
1,7	0,94	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99
1,8	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,0
1,9	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0
2,0	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2,1	0,98	0,99	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2,2	0,99	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2,3	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$\frac{X-t_{см}}{a}$	**b=3,0**	**3,1**	**3,2**	**3,3**	**3,4**	**3,5**	**3,6**	**3,7**	**3,8**	**3,9**	**4,0**
0,2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,3	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,4	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03

Продолжение таблицы П.2.2

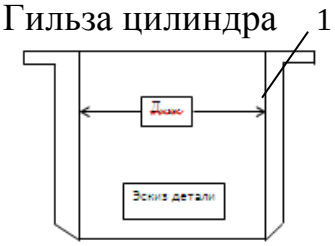
$\frac{X-t_{см}}{a}$	b=3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,5	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
0,6	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
0,7	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21
0,8	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34
0,9	0,52	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
1,2	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87
1,3	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
1,4	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
1,5	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
1,6	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,7	0,99	0,99	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Приложение 3

Пример выполнения основной части курсовой работы

1 Статистический анализ износов деталей

Карта исходных данных
Двигатель трактора

Наименование и чертеж контролируемой детали	Контролируемый дефект	
	номер на чертеже	наименование дефекта и средство контроля
Гильза цилиндра 	1	Нутромер

Размер детали, мм		
по чертежу, номинальный	допустимый	предельный
$110^{+0,06}$	110,12	110,28

Результаты измерений, мм

110,24	110,28	110,12	110,20	110,27	110,40	110,24	110,28	110,12
110,13	110,20	110,24	110,28	110,25	110,31	110,17	110,22	110,24
110,26	110,32	110,25	110,29	110,15	110,21	110,25	110,29	110,25
110,20	110,24	110,17	110,22	110,20	110,24	110,26	110,33	110,19
110,16	110,21	110,19	110,23	110,26	110,37	110,16	110,21	110,26
110,27	110,39	110,25	110,29	110,18	110,22	110,27	110,39	110,13
110,20	110,28	110,30	110,23	110,34	110,21	-	-	-

Материал — чугун специальный

Масса — 4,35 кг

1.1 Обработка статистических данных по износу деталей

В соответствии с вариантом исходных данных для выполнения курсовой работы измерения гильзы цилиндров проведены в месте максимального износа, который наблюдается на глубине 25 мм - в зоне контакта с верхним поршневым кольцом при положении поршня в ВМТ. В соответствии с размером детали и требуемой точностью выбран мерительный инструмент - нутромер.

Результаты измерения 60 деталей приведены в исходных данных. Полученные размеры $D_{изм.i}$ располагаем в вариационный ряд и в порядке возрастания заносим в таблицу 1.

Вычисляем величину износа детали (мм):

- для отверстия:

$$X_i = D_{изм.i} - D_{н.\max}, \qquad (1.1)$$

где $D_{изм.i}$ - измеренный с допускаемой погрешностью размер детали, мм;

$D_{н.\max}$ - номинальный максимальный размер детали по чертежу, мм.

В наших расчетах $D_{н.\max} = 110 + 0,06 = 110,06 мм$.

Износы гильзы цилиндров составляют:

X_1 = 110,12 - 110,06=0,06 мм;

…

X_{60} = 110,40 - 110,06=0,34 мм.

Составляем сводную таблицу 1 (вариационный ряд) информации по износам детали в порядке возрастания.

Таблица 1

Сводная ведомость по износам деталей, мм

	$D_{изм.i}$	X_i	$D_{изм.i}$	X_i	$D_{изм.i}$	X_i	$D_{изм.i}$	X_i
1	110,12	0,06	110,20	0,14	110,24	0,18	110,28	0,22
2	110,12	0,06	110,20	0,14	110,24	0,18	110,28	0,22
3	110,13	0,07	110,21	0,15	110,25	0,19	110,28	0,22
4	110,13	0,07	110,21	0,15	110,25	0,19	110,29	0,23
5	110,15	0,09	110,21	0,15	110,25	0,19	110,29	0,23
6	110,16	0,10	110,21	0,15	110,25	0,19	110,29	0,23
7	110,16	0,10	110,22	0,16	110,25	0,19	110,30	0,24
8	110,17	0,11	110,22	0,16	110,26	0,20	110,31	0,25
9	110,17	0,11	110,22	0,16	110,26	0,20	110,32	0,26
10	110,18	0,12	110,23	0,17	110,26	0,20	110,33	0,27
11	110,19	0,13	110,23	0,17	110,26	0,20	110,34	0,28
12	110,19	0,13	110,24	0,18	110,26	0,20	110,37	0,31
13	110,20	0,14	110,24	0,18	110,27	0,21	110,38	0,32
14	110,20	0,14	110,24	0,18	110,27	0,21	110,39	0,33
15	110,20	0,14	110,24	0,18	110,28	0,22	110,40	0,34

ВНИМАНИЕ: ***далее в примере расчета пояснительный текст и формулы не приведены. Обучающемуся при написании курсовой работы необходимо приводить полный текст с формулами и расчетами, как в п. 1.1.***

Разбиваем информацию по износам на интервалы, определяем их количество

$n = \sqrt{60}$, получаем 7,8, округляем в большую сторону, принимаем n=8.

Находим величину интервала для составления статистического ряда:

$$\Delta X = \frac{0,34 - 0,06}{8} = 0,035.$$

Для упрощения расчетов значение величины интервала округляем в большую сторону и принимаем 0,04, т.е. кратным 2.

Определяем начало первого интервала (величина смещения опытных данных или сдвиг износов):

$$t_{см} = 0,06 - 0,5 \cdot 0,04 = 0,04 мм.$$

Находим середины интервалов:

$X_{ср.1}$=(0,04+0,08)/2=0,06 мм

…

$X_{ср.8}$=(0,32+0,36)/2=0,34 мм

Группируем значения износов по интервалам и определяем частоту $\boldsymbol{m_i}$ (количество измерений, приходящихся на каждый интервал): $m_1=4 \ldots m_8=2$.

Определяем значение опытных вероятностей (частности) в каждом интервале

$$P_1 = \frac{4}{60} = 0,07 \ \ldots P_8 = \frac{2}{60} = 0,03.$$

Определяем значения накопленных опытных вероятностей (экспериментальной функции распределения):

$$\sum P_1 = 0,07 \text{ ; } \sum P_2 = 0,07 + 0,10 = 0,17 \text{ и т.д.}$$

Полученные данные записываем в таблицу 2.

Таблица 2

Статистический ряд информации по износу деталей

Интервал, номер, величина, мм	1 0,04-0,08	2 0,081 - 0,12	3 0,121-0,16	4 0,161-0,20	5 0,201-0,24	6 0,241-0,28	7 0,281-0,32	8 0,321-0,36	Контроль
Середина интервала, $X_{\text{ср}i}$	0,06	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	-
Частота, m_i	4	6	14	18	10	4	2	2	$\sum m_i = 60$
Опытная вероятность, P_i	0,07	0,10	0,23	0,30	0,17	0,07	0,03	0,03	-
Накопленная опытная вероятность, P_i	0,07	0,17	0,40	0,70	0,87	0,94	0,97	1,00	$\sum P_i = 1$

1.2 Определение числовых характеристик износа (экспериментального распределения)

Вычисляем среднюю величину износа (математическое ожидание):

$$M[x] = 0,06 \cdot 0,07 + 0,1 \cdot 0,1 + ... + 0,34 \cdot 0,03 = 0,175 мм.$$

Определяем среднее квадратическое отклонение (стандарт):

$$\sigma = \sqrt{(0,06 - 0,175)^2 \cdot 0,07 + ... + (0,34 - 0,175)^2 \cdot 0,03} = 0,06 мм.$$

Проверяем статистические данные на наличие выпадающих точек по критерию Ирвина. Обычно проверяются крайние значения ($X_{макс}$, $X_{мин}$) путем их сравнения со смежными точками ($X_{макс-1}$, $X_{мин+1}$).

Для наименьшего износа:

$$\lambda_{оп} = \frac{0,06 - 0,06}{0,06} = 0;$$

Для наибольшего износа:

$$\lambda_{оп} = \frac{0,34 - 0,33}{0,06} = 0,17.$$

Находим теоретическое значение коэффициента Ирвина для заданного значения *N=60* (таблица П.2.1) $\lambda_т = 1,28$ по результатам интерполяции. В данном случае выполняется неравенство 0,17<1,28, следовательно, все результаты измерений достоверны с требуемой вероятностью α=95%.

1.3 Графическое построение опытного распределения

По данным таблицы 2 строим графики: полигон (плотность вероятности) и гистограмму распределения опытной вероятности P_i, при этом точки износа детали отмечаем в середине каждого интервала $X_{cp.i}$ (рис. 1).

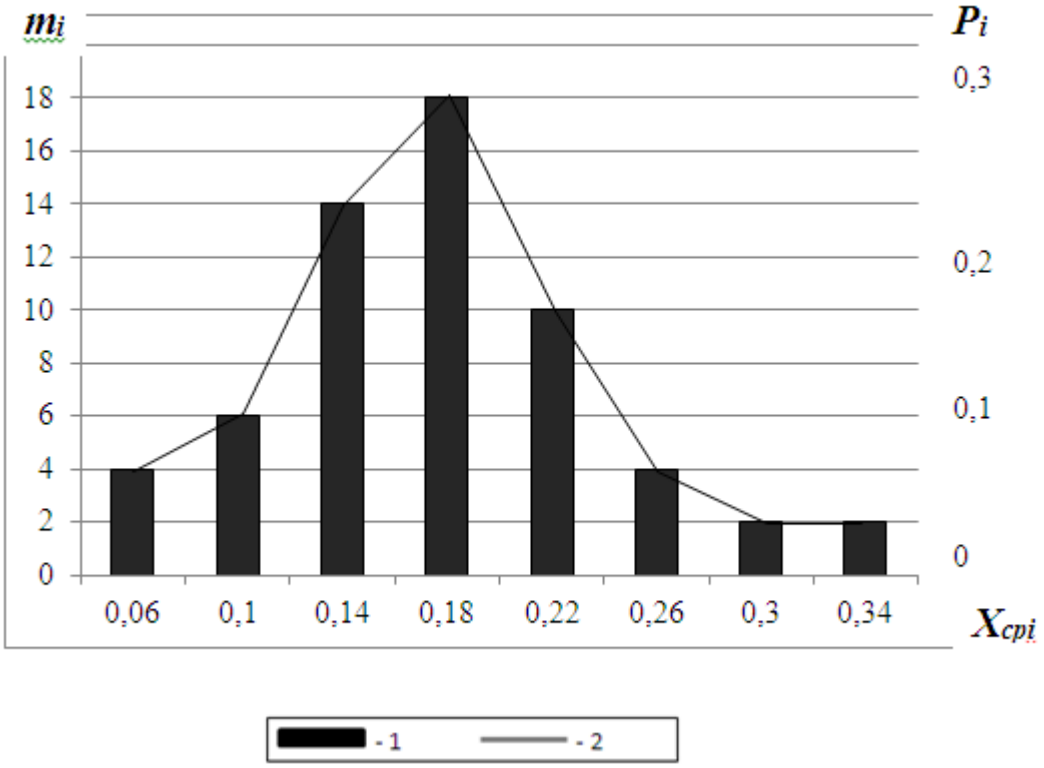


Рис. 1. Гистограмма (1) и плотность вероятностей (2) распределения износов деталей

Площадь каждого прямоугольника гистограммы (1) представляет собой опытную вероятность или количество деталей, у которых износ находится в данном интервале.

Строим ломаную кривую экспериментальной функции распределения износов накопленных вероятностей $F^* X_i$. Точки кривой накопленных вероятностей образуются пересечением абсциссы, равной концу данного интервала и ординаты, равной сумме вероятностей предыдущих интервалов (рис.2).

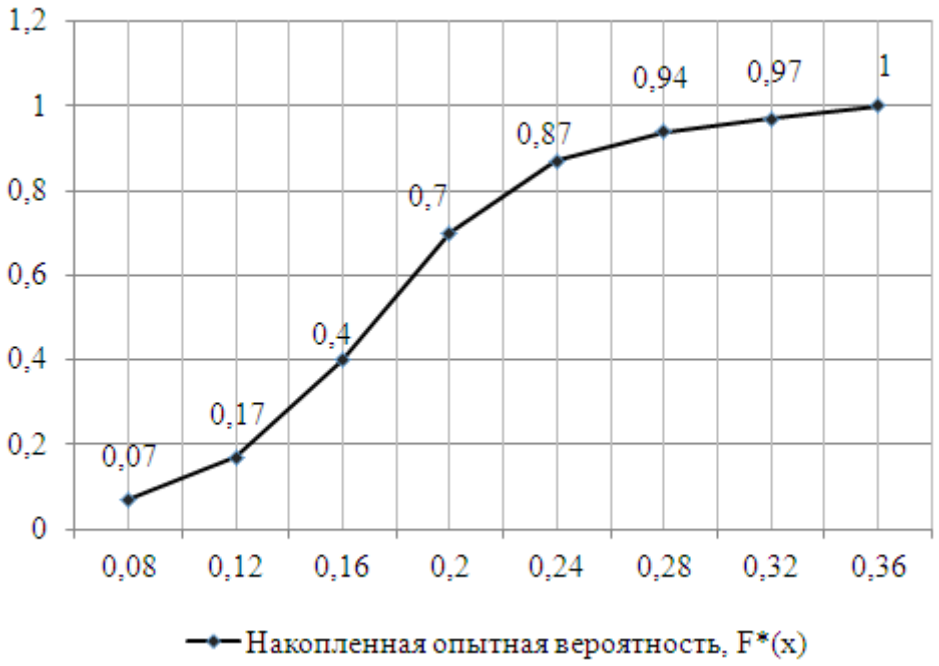


Рис. 2. График экспериментальной функции распределения износов *F*(x)*

Гистограмма и полигон являются дифференциальными законами распределения случайной величины, а кривая накопленных опытных вероятностей – интегральным статистическим (опытным) законом распределения случайной величины.

1.4 Выбор теоретического закона распределения износов деталей

Определяем по полученной информации теоретический закон распределения износов для генеральной совокупности машин, который выражает общий характер изменения износов и исключает частные отклонения вызванные разнообразием и непостоянством факторов, влияющих на работу машин.

Теоретический закон применим как к полной совокупности, так и к любой частной совокупности деталей данного

наименования. Замена опытного закона распределения теоретическим называется выравниванием статистической информации.

Применительно к надежности сельскохозяйственной и другой техники используются в основном *закон нормального распределения (ЗНР)* и *закон распределения Вейбулла (ЗРВ)*

Предварительный выбор теоретического закона распределения *(ТЗР)* осуществляем по величине коэффициента вариации *v*:

$$v = \frac{0,06}{0,175 - 0,04} = 0,444.$$

Коэффициент вариации находится в интервале от 0,33 до 0,5, следовательно, выбираем тот закон, который лучше совпадает с опытной информацией. Рассчитываем значения интегральной функции распределения износа детали *F(x)* по ЗНР и ЗВР.

Для ЗНР в таблице П.3.1. приведены значения для нормированного ($\sigma=1$) и центрированного ($M[x]=0$) распределения. С целью приведения исходных данных к нормированному и центрированному распределению вычисляем вспомогательную переменную в конце 1-го интервала:

$$X_{в1} = \frac{0,08 - 0,175}{0,06} = -1,58;$$

…

для восьмого интервала

$$X_{в8} = \frac{0,36 - 0,175}{0,06} = 3,08$$, округляем до 3,0.

По величине вспомогательной переменной в таблице

П.3.1. находим значения функции теоретического закона нормального распределения $F(x_{ki})$ в конце каждого интервала.

Для первого интервала

$F_1(1,58)=0,94$, т.к. значение вспомогательной переменной отрицательное, то с учетом формулы (13)

$F_1(-1,58)=1-0,94=0,06.$

…

Для восьмого интервала значение вспомогательной переменной положительное, тогда по табл. П.3.1 находим

$F_8(3,0)=0,999.$

Для ЗРВ предварительно находим в зависимости от значения коэффициента вариации по таблице П.2.4:

$K_b = 0,886$ – вспомогательный коэффициент ЗРВ;

$b= 2,4$ - коэффициент формы.

Далее определяем параметр ЗРВ

$$a = \frac{0,175 - 0,04}{0,886} = 0,152.$$

Находим значение вспомогательной переменной в конце 1-го интервала

$$X_{в1} = \frac{0,08 - 0,04}{0,152} = 0,27;$$

…

в конце восьмого интервала

$$X_{в8} = \frac{0,36 - 0,04}{0,152} = 2,13.$$

По величине вспомогательной переменной и коэффици-

ента формы в таблице П.3.2. находим значения функции теоретического закона Вейбулла $F(x_{ki})$ в конце каждого интервала:

для первого интервала $F_1(0,27)=0,04;$

…

для восьмого интервала $F_8(2,13)=1,00.$

Полученные значения интегральных функций записываем в таблицу 3.

Определяем разности между накопленной опытной вероятностью и значением теоретической интегральной функции распределения для ЗНР и ЗРВ по формуле (16). Заносим полученные значения D в таблицу 3.

Производим выбор теоретического закона распределения с помощью критерия согласия. Применительно к показателям надежности технических систем чаще всего используют критерий Пирсона (x^2) и D-критерий Колмогорова (λ).

Критерий Пирсона дает более точную вероятность совпадения опытного и теоретического законов, но он сложен в расчетах. Применяем при выборе закона теоретического распределения D-критерий Колмогорова, т.к. он более прост в определении и лучше выравнивает опытную информацию.

Находим из таблицы 3, что максимальная абсолютная разность между накопленной опытной вероятностью и теоретической интегральной функцией распределения $D_{max}=0,04$ для обоих законов.

Определяем критерий согласия Колмогорова

$$\lambda = 0,04 \cdot \sqrt{60} = 0,31.$$

По величине D-критерия Колмогорова определяем вероятность теоретического закона с опытным распределением

Таблица 3

Выбор теоретического закона распределения износов

Интервал, номер, величина, мм		1 0,04-0,08	2 0,081 - 0,12	3 0,121-0,16	4 0,161-0,20	5 0,201-0,24	6 0,241-0,28	7 0,281-0,32	8 0,321-0,36
Конец интервала, мм		0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36
Накопленная опытная вероятность, P_i		0,07	0,17	0,40	0,70	0,87	0,94	0,97	1,00
ЗНР	Вспомогательная переменная, $X_{вi}$	-1,58	-0,92	-0,25	0,42	1,08	1,75	2,42	3,00
	Теоретическая функция распределения, $F(x_{ki})$	0,06	0,18	0,40	0,66	0,86	0,96	0,992	0,999
	Разность, D	0,01	-0,01	0,00	0,04	0,01	-0,02	-0,02	0,00
ЗРВ	Вспомогательная переменная, $X_{вi}$	0,27	0,53	0,80	1,07	1,33	1,6	1,87	2,13
	Теоретическая функция распределения, $F(x_{ki})$	0,04	0,19	0,44	0,66	0,86	0,95	0,99	1,00
	Разность, D	0,03	-0,02	-0,04	0,04	0,01	-0,01	-0,02	0,00

(таблица П.2.2). Получаем с учетом интерполяции *P=0,9997.* Применяем для выравнивания опытной информации нормальный закон распределения, т.к. значение $D_{max}=0,04$ у него выявлено 1 раз, а у закона распределения Вейбулла – 2 раза.

Строим график выбранного теоретического закона распределения износа деталей (рис. 3).

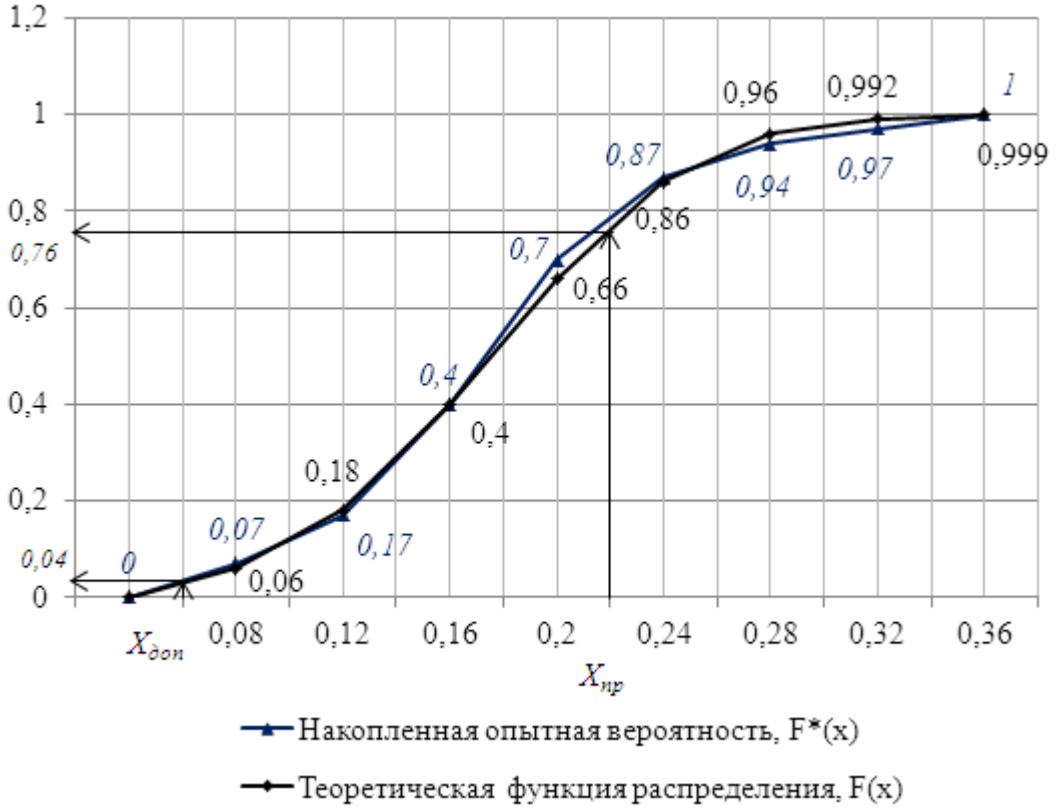


Рис. 3. График функций распределения износов деталей

1.5 Определение доверительного интервала и относительной ошибки характеристик износа деталей

Изменение условий эксплуатации и количества машин, за которыми ведется наблюдение, вызывает изменение количественных характеристик показателей надежности. Данные изменения носят случайный характер, они проходят в определенных границах или в определенном (доверительном) интервале, в который попадают измеренные значения, соответ-

ствующие заданной доверительной вероятности α. Границы, в которых может находиться одиночное или среднее значение показателя надежности, называют нижней и верхней доверительными границами.

Для определения доверительных границ рассеивания среднего значения износа для закона нормального распределения задаем значение доверительной вероятности α=95% и находим значение коэффициента Стьюдента, который определяется в зависимости от N и выбранной доверительной вероятности $t_\alpha = 2{,}0$ (таблица П.2.3).

Находим доверительные границы рассеивания среднего значения износа детали

$$X_{0,95}^{н} = 0{,}175 - 2\frac{0{,}06}{\sqrt{60}} = 0{,}16 мм;$$

$$X_{0,95}^{в} = 0{,}175 + 2\frac{0{,}06}{\sqrt{60}} = 0{,}19 мм.$$

Таким образом, с вероятностью 95% среднее значение износа стенки гильзы цилиндра будет находиться в интервале 0,16…0,19 мм.

Определяем относительную ошибку расчета характеристик износа:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{0{,}19 - 0{,}175}{0{,}175} \cdot 100\% = 8\%.$$

Значение относительной ошибки расчета составляет 8%, что меньше допустимой относительной ошибки $\varepsilon_\alpha = 12\%$. Объем выборки *N=60* деталей достаточен для обеспечения требуемой точности расчетов.

1.6 Распределение деталей по группам годности

Для определения количества годных деталей рассчитать износы деталей для допустимого и предельного состояния для отверстий:

$$X_{доп} = 110{,}12 - 110{,}06 = 0{,}06 мм;$$

$$X_{пр} = 110{,}28 - 110{,}06 = 0{,}22 мм.$$

На графике (рис. 3) отмечаем точки абсциссы, соответствующие допустимому $D_{доп}$ и предельному $D_{пр}$ размерам детали.

По значениям функции распределения в этих точках определяем количество деталей (в долях совокупности или в процентах):

- годных для дальнейшего использования:

$$\gamma_{годн} = F(0{,}06) = 0{,}04;$$

- достигших предельного состояния:

$$\gamma_{пр} = 1 - F(0{,}22) = 1 - 0{,}76 = 0{,}24.$$

Детали, снятые с машины, имеющие размеры больше допустимых $D_{доп}$ без ремонта, но не достигшие предельного состояния $D_{пр}$, обычно выбраковываются или направляются на восстановление. В этих случаях наблюдается недоиспользование ресурса деталей в пределах одного межремонтного периода, так как величина ($D_{пр}$ - $D_{доп}$) гарантирует наработку, равную ресурсу до очередного текущего ремонта $T_{мр}$.

Определяем количество деталей с недоиспользованным

ресурсом (в долях) как разность между значениями функций распределения в точках, соответствующих предельному и допустимому размерам деталей:

$$\gamma_{нр} = 0,76 - 0,04 = 0,72.$$

Определяем количество деталей в каждой группе, задаваясь программой условного ремонтного предприятия *П=100* двигателей в год и количеством гильз цилиндра, установленных на двигателе *q=4* :

- годных деталей:

$$K_{годн} = 100 \cdot 4 \cdot 0,04 = 16;$$

- предельно изношенных деталей:

$$K_{пр} = 100 \cdot 4 \cdot 0,24 = 96;$$

- с недоиспользованным ресурсом:

$$K_{нр} = 100 \cdot 4 \cdot 0,72 = 288.$$

Таким образом, основную часть исследованной совокупности деталей составляют гильзы цилиндров с недоиспользованным ресурсом до их предельного состояния – 72%, предельно изношенных деталей - 24% и меньшую часть (4%) занимают годные для эксплуатации гильзы цилиндров.

2 Логико-графический метод анализа надежности и риска

Задание. Возникновение и развитие пожара на судне

Формулировка задания: Найти вероятность возникновения и развития пожара на судне и риск гибели человека при профессиональной деятельности.

Описание причин возникновения опасной ситуации:

Вероятность возникновения и развития пожара на судне $P_п$ (вентиль «*И*») определяется вероятностью возникновения условий для зажигания $P_{заж}$, образования горючей смеси паров нефтепродуктов с воздухом $P_{г.с}$ и возможным отказом системы тушения пожара $P_{отк}$.

Вероятность возникновения условий для зажигания $P_{заж}$ («*И*») определяется возможностью появления источника зажигания $P_{и.з}$ с достаточной мощностью $P_{1.}$ Вероятность $P_{и.з}$ («*ИЛИ*») может определяться одной из следующих причин, обусловленных неисправностью электросети:

– перегрузкой электросети P_2;

– нарушением изоляции P_3;

– коротким замыканием P_4.

Вероятность образования горючей смеси паров нефтепродуктов с воздухом $P_{г.с}$ («*И*») определяется возможностью появления паров нефтепродуктов $P_{п.н}$ и созданием пожароопасной концентрации паров с воздухом P_5. Вероятность появления паров нефтепродуктов $P_{п.н}$ («*И*») определяется возможностью появления разлива легковоспламеняющейся жидкости $P_{р.ж}$ и недостаточной производительностью системы вентиляции P_6. Вероятность разлива легковоспламеняющейся жидкости $P_{р.ж}$ («*ИЛИ*») определяется одной из следующих причин:

– возможным подтеканием топлива в системе P_7;

– нарушением правил безопасности при работе с легковоспламеняющейся жидкостью P_8.

Вероятность возможного отказа системы тушения пожара $P_{отк}$ («инвертор», «*И*») обусловлена:

– степенью безотказности работы системы обнаружения загорания P_9,

– применением первичных способов тушения локальных очагов загорания P_{10};

– эффективностью работы установки тушения пожара P_{11}.

Риск гибели человека при пожаре («*И*») определяется вероятностью возникновения пожара на судне $P_п$, вероятностью воздействия опасных факторов пожара с уровнями смертельными для человека $P_{с.у}$, вероятностью эффективного использования судовых средств спасения людей $P_{э.с}$ («инвертор») и возможностью эвакуации людей спасательными судами $P_{с.с}$ («инвертор»).

Исходные данные для расчёта приведены в таблице 4.

Таблица 4

Исходные данные для расчёта

Вероятность	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
Значение	0,25	0,15	0,30	0,55	0,25	0,45	0,75
Вероятность	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	$P_{с.у}$	$P_{э.с}$	$P_{с.с}$
Значение	0,25	0,15	0,25	0,85	0,75	0,25	0,85

Построение структурной схемы дерева возникновения пожара на судне показано на рисунке 4, схемы риска гибели человека – на рисунке 5.

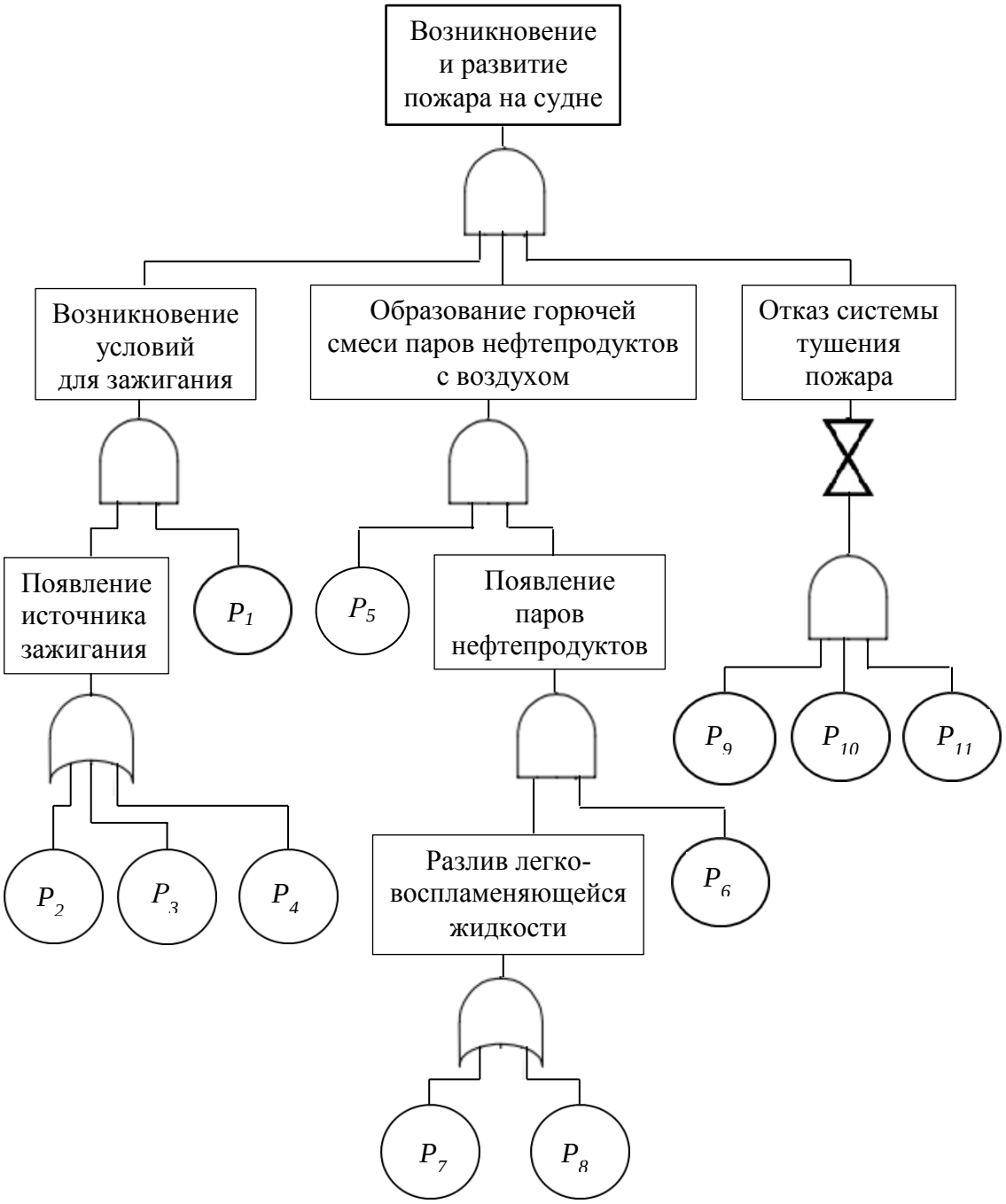


Рис. 4. Структурная схема дерева вероятности возникновения пожара на судне

Составление формул, расчёт вероятности возникновения опасной ситуации и риска гибели человека проводим в последовательности, позволяющей выполнять расчеты при наличии значений вероятности исходный событий.

Вероятность появления источника зажигания

$$P_{и.з} = P_2 + P_3 + P_4 - P_2 \cdot P_3 - P_3 \cdot P_4 - P_4 \cdot P_2 + P_2 \cdot P_3 \cdot P_4, \quad (2.1)$$

$$P_{и.з} = 0{,}15 + 0{,}3 + 0{,}55 - 0{,}15 \cdot 0{,}3 - 0{,}3 \cdot 0{,}55 - 0{,}55 \cdot 0{,}15 +$$
$$+0{,}15 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}55 = 0{,}732.$$

Вероятность возникновения условий для зажигания

$$P_{заж} = P_{и.з} \cdot P_1, \qquad (2.2)$$

$$P_{заж} = 0{,}732 \cdot 0{,}25 = 0{,}183.$$

Вероятность разлива легковоспламеняющейся жидкости

$$P_{р.ж} = P_7 + P_8 - P_7 \cdot P_8, \qquad (2.3)$$

$$P_{р.ж} = 0{,}75 + 0{,}25 - 0{,}75 \cdot 0{,}25 = 0{,}813.$$

Вероятность появления паров нефтепродуктов

$$P_{п.н} = P_{р.ж} \cdot P_6, \qquad (2.4)$$

$$P_{п.н} = 0{,}813 \cdot 0{,}45 = 0{,}366.$$

Вероятность образования горючей смеси паров нефтепродуктов с воздухом

$$P_{г.с} = P_5 \cdot P_{п.н}, \qquad (2.5)$$

$$P_{г.с} = 0{,}25 \cdot 0{,}366 = 0{,}0915.$$

Вероятность возможного отказа системы тушения пожара

$$P_{отк} = 1 - P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{11}, \qquad (2.6)$$

$$P_{отк} = 1 - 0{,}15 \cdot 0{,}25 \cdot 0{,}85 = 0{,}97.$$

Вероятность возникновения и развития пожара на судне

$$P_п = P_{заж} \cdot P_{г.с} \cdot P_{отк}, \qquad (2.7)$$

$$P_п = 0{,}183 \cdot 0{,}0915 \cdot 0{,}97 = 0{,}016.$$

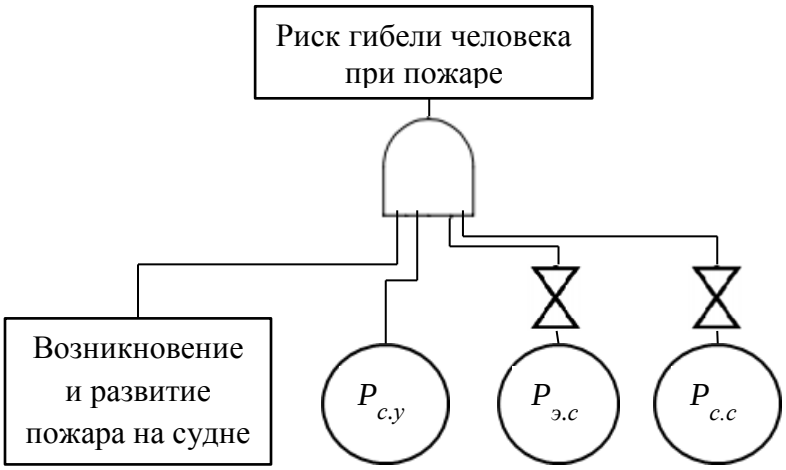


Рис. 5. Структурная схема риска гибели человека

Риск гибели человека при пожаре

$$R = P_п \cdot P_{с.у} \cdot \left(1 - P_{э.с}\right) \cdot \left(1 - P_{с.с}\right). \qquad (2.8)$$

$$R = 0{,}016 \cdot 0{,}75 \cdot \left(1 - 0{,}25\right) \cdot \left(1 - 0{,}85\right) = 0{,}0014.$$

Выводы:

Возникновение и развитие пожара на судне является вероятным некритическим событием при принятии дополнительных мер безопасности. Профессиональная деятельность относится к третьей категории - опасной работе с $R = 10^{-3} - 10^{-2}$.

Риск гибели человека в данной системе можно уменьшить прежде всего увеличением степени безотказности системы обнаружения загорания $P_{о.з}$, системы тушения локальных очагов загорания $P_{л.з}$ и повышением эффективности судовых средств спасения людей.

Приложение 4

Форма титульного листа курсовой работы

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова»
(ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ)**

Кафедра Безопасности жизнедеятельности

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине:
НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Выполнил обучающийся
факультета ……..
Направление подготовки
20.03.01 Техносферная безопасность
Группа _____
Шифр_____
Ф.И.О.

Проверил:
Доцент Кочинов Ю.А.
«____»_____202__г

Пермь, 202_