

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Брянский государственный аграрный университет»

Институт дополнительного профессионального образования



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и  
цифровизации

А. В. Кубышкина

« 17 » нояб 2022 г

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Надежность технических систем и техногенный риск

(наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

ПО ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ

(профессиональной переподготовки)

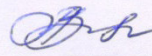
Безопасность технологических процессов и производств

(наименование программы)

Брянская область  
2022



Программу составил:  
руководитель службы охраны труда  
*(ученая степень и (или) ученое звание, должность,  
структурное подразделение)*

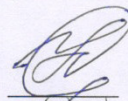


*(подпись)*

Агеенко Л.В.  
*(И.О.Фамилия)*

одобрена на расширенном заседании  
кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии  
*(структурное подразделение)*  
Протокол № 2 от «20» 09 2022 г.

Заведующий кафедрой  
д. т. н., профессор



*(подпись)*

Н. Е. Сакович  
*(И.О.Фамилия)*

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
1. Цель и задачи дисциплины .....	4
2. Планируемые результаты обучения .....	4
3. Структура и содержание дисциплины .....	4
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы слушателей	5
5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации .....	5
6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины..	18
7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины	19
.....	

## Надежность технических систем и техногенный риск

**1. Цель и задачи дисциплины** - приобретение знаний по обеспечению высоких показателей надежности на всех стадиях существования объекта (машины, аппараты), навыков по определению вероятности техногенного риска, прогнозированию величины ущерба, обеспечению безаварийной работы оборудования, установление необходимых запасов надежности и долговечности при заданных условиях эксплуатации.

### 2. Планируемые результаты обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: ОК-11 (способностью представлять итоги профессиональной деятельности в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с предъявляемыми требованиями); ПК-3 (способностью оптимизировать методы и способы обеспечения безопасности человека от воздействия различных негативных факторов в техносфере); ПК-4 (способностью проводить экономическую оценку эффективности внедряемых инженерно-технических мероприятий).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**знать:** способы представления итогов профессиональной деятельности в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с предъявляемыми требованиями, способы прогнозирования, определения зоны повышенного техногенного риска и зоны повышенного загрязнения, способы проведения экономической оценки эффективности внедряемых инженерно-технических мероприятий.

**уметь:** представлять итоги профессиональной деятельности в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с предъявляемыми требованиями, прогнозировать, определять зоны повышенного техногенного риска и зоны повышенного загрязнения, проводить экономическую оценку эффективности внедряемых инженерно-технических мероприятий.

**владеть:** навыками представления итогов профессиональной деятельности в виде отчетов, рефератов, статей, оформленных в соответствии с предъявляемыми требованиями, способностью прогнозировать, определять зоны повышенного техногенного риска и зоны повышенного загрязнения, навыками проведения экономической оценки эффективности внедряемых инженерно-технических мероприятий.

### 3. Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Наименование тем и вопросов	Всего часов	В том числе	
			лекции и	практические
1	Основные понятия надежности технических систем	2	2	
2	Показатели надежности технических систем	2	2	
3	Модели распределений, используемых в теории надежности	2	2	
4	Математические зависимости для оценки надежности	2	2	
5	Причины потери работоспособности технического объекта	2	2	
6	Основные характеристики надежности элементов и систем	2	2	
7	Расчет показателей надежности технических систем	2		2
8	Логико-графические методы анализа надежности и риска	2		2
9	Методы обеспечения надежности сложных систем	2		2
10	Основы теории и практики техногенного риска	2		2
	<b>Итого</b>	20	12	8

#### *Тема 1. Основные понятия надежности технических систем*

Термины и определения надежности технических систем. значения перекрываются. Часто термины анализ безопасности или анализ опасности используются как равнозначные понятия. Наряду с термином анализ надежности они относятся к

исследованию как работоспособности, отказов оборудования, потери работоспособности, так и процесса их возникновения.

Обеспечение надежности систем охватывает самые различные аспекты человеческой деятельности. Надежность является одной из важнейших характеристик, учитываемых на этапах разработки, проектирования и эксплуатации самых различных технических систем.

С развитием и усложнением техники углубилась и развивалась проблема ее надежности. Изучение причин, вызывающих отказы объектов, определение закономерностей, которым они подчиняются, разработка метода проверки надежности изделий и способов контроля надежности, методов расчетов и испытаний, изыскание путей и средств повышения надежности – являются предметом исследований надежности.

#### *Тема 2. Показатели надежности технических систем*

Показателями надежности называют количественные характеристики одного или нескольких свойств объекта, составляющих его надежность. К таким характеристикам относят, например, временные понятия — наработку, наработку до отказа, наработку между отказами, ресурс, срок службы, время восстановления. Значения этих показателей получают по результатам испытаний или эксплуатации. По восстанавливаемости изделий показатели надежности подразделяют на показатели для восстанавливаемых изделий и показатели невосстанавливаемых изделий. Применяются также комплексные показатели. Надежность изделий, в зависимости от их назначения, можно оценивать, используя либо часть показателей надежности, либо все показатели. Показатели надежности, показатели безотказности, показатели долговечности, комплексные показатели надежности.

#### *Тема 3 Модели распределений, используемых в теории надежности*

Закон распределения Пуассона. Экспоненциальное распределение. Нормальный закон распределения. Логарифмически нормальное распределение. Распределение Вейбулла. Гамма-распределение. Установление функции распределения показателей надежности по данным статистической информации.

#### *Тема 4 Математические зависимости для оценки надежности*

Функциональные зависимости надежности. Теорема сложения вероятностей. Теорема умножения вероятностей. Формула полной вероятности.

#### *Тема 5 Причины потери работоспособности технического объекта*

Источники и причины изменения начальных параметров технической системы. Процессы, снижающие работоспособность системы. Физика отказов. Анализ закономерностей изменения свойств материалов. Законы состояния. Законы старения. Множественные отказы.

#### *Тема 6 Основные характеристики надежности элементов и систем*

Показатели надежности невосстанавливаемого элемента. Показатели надежности восстанавливаемого элемента. Показатели надежности системы, состоящей из независимых элементов. Выбор и обоснование показателей надежности технических систем. Распределение нормируемых показателей надежности.

### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы слушателей по модулю**

Занятия по модулю представлены следующими видами работ: лекциями, практическими занятиями, самостоятельной работой обучающихся.

### **5. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

После усвоения вопросов, приведенных выше, слушатель института повышения квалификации выполняет контрольную работу по индивидуальным вариантам (шифр – 2 последние цифры зачетной книжки). В каждый вариант задания входят 3 вопроса и задача. Против номера варианта указаны номера вопросов и задачи, подлежащие выполнению в контрольной работе.

Контрольная работа оформляется в соответствии с ГОСТ 2.105 -95 Общие требования к текстовым документам.

Отвечая на вопросы необходимо отражать основное содержание вопроса. Перед каждым ответом необходимо поместить текст вопроса.

В конце контрольной работы необходимо привести перечень использованной литературы, оформленной в соответствии с ГОСТР 7.0.5- 2008 Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления.

Контрольные работы засчитываются после устного собеседования по выполненной работе.

Ниже приводятся номера вариантов и номера контрольных вопросов, включенных в задание (см. таблицу 1).

**Таблица 1-Номера вариантов и контрольных вопросов**

Две последние цифры шифра зачетной книжки	Номера контрольных вопросов				Две последние цифры шифра зачетной книжки	Номера контрольных вопросов			
	1	2	3	Задача		1	2	3	Задача
<b>00</b>	1	31	61	1	<b>50</b>	51	11	41	19
<b>01</b>	2	32	62	2	<b>51</b>	52	12	42	20
<b>02</b>	3	33	63	3	<b>52</b>	53	13	43	21
<b>03</b>	4	34	64	4	<b>53</b>	54	14	44	22
<b>04</b>	5	35	65	5	<b>54</b>	55	15	45	23
<b>05</b>	6	36	66	6	<b>55</b>	56	16	46	24
<b>06</b>	7	37	67	7	<b>56</b>	57	17	47	25
<b>07</b>	8	38	68	8	<b>57</b>	58	18	48	26
<b>08</b>	9	39	69	9	<b>58</b>	59	19	49	27
<b>09</b>	10	40	70	10	<b>59</b>	60	20	50	28
<b>10</b>	11	41	1	11	<b>60</b>	61	21	51	29
<b>11</b>	12	42	2	12	<b>61</b>	62	22	52	30
<b>12</b>	13	43	3	13	<b>62</b>	63	23	53	31
<b>13</b>	14	44	4	14	<b>63</b>	64	24	54	32
<b>14</b>	15	45	5	15	<b>64</b>	65	25	55	1
<b>15</b>	16	46	6	16	<b>65</b>	66	26	56	2
<b>16</b>	17	47	7	17	<b>66</b>	67	27	57	3
<b>17</b>	18	48	8	18	<b>67</b>	68	28	58	4
<b>18</b>	19	49	9	19	<b>68</b>	69	29	59	5
<b>19</b>	20	50	10	20	<b>69</b>	70	30	60	6
<b>20</b>	21	51	11	21	<b>70</b>	1	31	61	7
<b>21</b>	22	52	12	22	<b>71</b>	2	32	62	8
<b>22</b>	23	53	13	23	<b>72</b>	3	33	63	9
<b>23</b>	24	54	14	24	<b>73</b>	4	34	64	10
<b>24</b>	25	55	15	25	<b>74</b>	5	35	65	11
<b>25</b>	26	56	16	26	<b>75</b>	6	36	66	12
<b>26</b>	27	57	17	27	<b>76</b>	7	37	67	13
<b>27</b>	28	58	18	28	<b>77</b>	8	38	68	14
<b>28</b>	29	59	19	29	<b>78</b>	9	39	69	15
<b>29</b>	30	60	20	30	<b>79</b>	10	40	70	16
<b>30</b>	31	61	21	31	<b>80</b>	11	41	1	17

31	32	62	22	32	81	12	42	2	18
32	33	63	23	1	82	13	43	3	19
33	34	64	24	2	83	14	44	4	20
34	35	65	25	3	84	15	45	5	21
35	36	66	26	4	85	16	46	6	22
36	37	67	27	5	86	17	47	7	23
37	38	68	28	6	87	18	48	8	24
38	39	69	29	7	88	19	49	9	25
39	40	70	30	8	89	20	50	10	26
40	41	1	31	9	90	21	51	11	27
41	42	2	32	10	91	22	52	12	28
42	43	3	33	11	92	23	53	13	29
43	44	4	34	12	93	24	54	14	30
44	45	5	35	13	94	25	55	15	31
45	46	6	36	14	95	26	56	16	32
46	47	7	37	15	96	27	57	17	1
47	48	8	38	16	97	28	58	18	2
48	49	9	39	17	98	29	59	19	3
49	50	10	40	18	99	30	60	20	4

### Перечень вопросов для контрольной работы

1. Основные понятия надежности технических систем.
2. Показатели надежности технических систем.
3. Модели распределений, используемых в теории надежности.
4. Закон распределения Пуассона.
5. Экспоненциальное распределение
6. Нормальный закон распределения.
7. Логарифмически нормальное распределение.
8. Распределение Вейбулла.
9. Гамма-распределение.
10. Установление функции распределения показателей надежности по данным статистической информации.
11. Математические зависимости для оценки надежности.
12. Функциональные зависимости надежности.
13. Теорема сложения вероятностей.
14. Теорема умножения вероятностей.
15. Формула полной вероятности.
16. Причины потери работоспособности технического объекта.
17. Источники и причины изменения начальных параметров технической системы.
18. Процессы, снижающие работоспособность системы.
19. Физика отказов.
20. Анализ закономерностей изменения свойств материалов
21. Законы состояния.
22. Законы старения.
23. Множественные отказы.
24. Основные характеристики надежности элементов и систем.
25. Показатели надежности невосстанавливаемого элемента.
26. Показатели надежности восстанавливаемого элемента.
27. Показатели надежности системы, состоящей из независимых элементов.

28. Выбор и обоснование показателей надежности технических систем.
29. Распределение нормируемых показателей надежности.
30. Расчет показателей надежности технических систем.
31. Структурные модели надежности сложных систем.
32. Структурная схема надежности системы с последовательным соединением элементов.
33. Структурные схемы надежности систем с параллельным соединением элементов.
34. Структурные схемы надежности систем с другими видами соединения элементов.
35. Зависимости для расчета вероятности безотказной работы по заданному критерию.
36. Проектный расчет надежности технической системы.
37. Применение теории надежности для оценки безопасности технических систем.
38. Показатели надежности при оценке безопасности систем «человек – машина» (СЧМ).
39. Роль инженерной психологии в обеспечении надежности.
40. Логико-графические методы анализа надежности и риска.
41. Определения и символы, используемые при построении дерева.
42. Процедура анализа дерева отказов.
43. Построение дерева отказов.
44. Качественная и количественная оценка дерева отказов.
45. Аналитический вывод для простых схем дерева отказов.
46. Дерево с повторяющимися событиями.
47. Вероятностная оценка дерева отказов.
48. Преимущества и недостатки метода дерева отказов.
49. Методы обеспечения надежности сложных систем.
50. Конструктивные способы обеспечения надежности.
51. Технологические способы обеспечения надежности изделий в процессе изготовления.
52. Обеспечение надежности сложных технических систем в условиях эксплуатации.
53. Пути повышения надежности сложных технических систем при эксплуатации.
54. Организационно-технические методы по восстановлению и поддержанию надежности техники при эксплуатации.
55. Основы теории и практики техногенного риска.
56. Понятие техногенного риска.
57. Методология анализа и оценки риска.
58. Качественные методы анализа риска.
59. Количественная оценка риска.
60. Критерии приемлемого риска.
61. Управление риском .
62. Применение теории риска в технических системах.
63. Анализ и оценка риска при декларировании безопасности производственного объекта.
64. Оценка риска аварий.
65. Ионизирующее излучение как источник риска.
66. Классификация источников и уровней риска смерти человека в промышленно развитых странах.
67. Сравнение методов анализа риска



68. Показатели риска промышленного изделия  
 69. Схема оценки профессионального риска  
 70. Показатели надежности при оценке безопасности систем «человек – машина» (СЧМ)

### Задачи для контрольной работы

**Задача 1.** Функция распределения непрерывной случайной величины  $X$  задана выражением

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0; \\ ax^3 & \text{при } 0 < x \leq 1; \\ 1 & \text{при } x > 1. \end{cases}$$

Найти коэффициент  $a$  и плотность распределения  $f(x)$ .

**Задача 2.** Плотность распределения случайной величины  $X$  описывается выражением

$$f(x) = \begin{cases} ax & \text{при } 0 \leq x \leq 1; \\ 0 & \text{при } x < 0 \text{ или } x > 1. \end{cases}$$

Найти математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение случайной величины.

**Задача 3.** При проведении одного опыта может появиться или не появиться некоторое событие  $A$ . Вероятность появления события  $A$  равна  $p$ , а вероятность непоявления этого события -  $1 - p = q$ .

Определить математическое ожидание, дисперсию и среднее квадратическое отклонение случайной величины  $X$  — число появлений события  $A$ .

**Решение.** Ряд распределения случайной величины  $X$  можно записать в виде таблицы:

$x_i$	0	1
$P_i$	$q$	$p$

По формуле (3.3) находим математическое ожидание:

$$M_x = \sum_{i=0}^1 x_i p_i = 0q + 1p = p.$$

Дисперсию величины  $X$  определим по формуле (3.6). Среднее квадратическое отклонение равно:

$$D_x = \sum_{i=0}^1 (x_i - M_x)^2 p_i = pq.$$

$$\sigma_x = \sqrt{D} = \sqrt{pq}.$$

**Задача 4.** Пусть проводится стрельба из артиллерийского орудия по щиту. В результате проведения 500 выстрелов число попаданий оказалось равным 450. Найти вероятность попадания по щиту при одном выстреле.

**Задача 6.** Техническое устройство состоит из трех элементов  $A_1$ ,  $A_2$  и  $B$ . Элементы  $A_1$  и  $A_2$  дублируют друг друга. Это означает, что при отказе одного из них происходит автоматическое переключение на второй. Элемент  $B$  не дублирован.

Устройство прекращает работу в том случае, когда отказывают оба элемента  $A_1$  и  $A_2$  либо отказывает элемент  $B$ . Таким образом, отказ устройства можно представить в виде события  $C = A_1 A_2 + B$ , где событие  $A_1$  является отказом элемента  $A_1$ ,  $A_2$  — отказом элемента  $A_2$  и  $B$  — отказом элемента  $B$ . Требуется выразить вероятность события  $C$  через вероятности событий, содержащих только суммы.

**Задача 7.** Предположим, что опыт состоит в бросании двух монет, при этом рассматривают следующие события: событие  $A$  — появление герба на первой монете и событие  $B$  — появление герба на второй монете.

В этом случае вероятность события  $A$  не зависит от того, произошло событие  $B$  или нет, следовательно, событие  $A$  независимо от события  $B$ .

**Задача 8.** Пусть в урне имеется два белых и один черный шар. Два человека вынимают из урны по одному шару, при этом рассматриваются следующие события: событие  $A$  — появление белого шара у первого человека и событие  $B$  — появление белого шара у второго человека.

**Задача 9.** Устройство состоит из пяти приборов, каждый из которых, независимо от других, может в течение времени  $t$  отказать. Отказ хотя бы одного прибора приводит к отказу устройства. За время  $t$  вероятность безотказной работы каждого из приборов соответственно равна  $P_1(t)=0,95$ ;  $P_1(t)=0,99$ ;  $P_1(t)=0,98$ ;  $P_1(t)=0,90$ ;  $P_1(t)=0,93$ . Найти надежность устройства за время работы  $t$ .

**Задача 10.** Производят три выстрела по одной и той же мишени. Вероятность попадания при первом — третьем выстрелах соответственно равна:  $P_1 = 0,8$ ;  $P_2 = 0,6$ ;  $P_3 = 0,3$ ; Найти вероятность того, что в результате этих трех выстрелов в мишени будет хотя бы одна пробоина.

**Задача 11.** По движущемуся танку производят три выстрела из артиллерийского орудия. Вероятность попадания при первом выстреле равна  $0,5$ ; при втором —  $0,7$ ; при третьем —  $0,8$ . Для вывода танка из строя заведомо достаточно трех попаданий. При одном попадании танк выходит из строя с вероятностью  $0,3$ ; при двух попаданиях — с вероятностью  $0,9$ . Определить вероятность того, что в результате трех выстрелов танк выйдет из строя.

**Задача 12.** При проведении стрельб из орудия по щиту было зафиксировано десять промахов ( $m = 10$ ) из пятисот выстрелов ( $n = 500$ ).

Определить вероятность того, что при ста выстрелах будет ровно четыре промаха, если считать, что все выстрелы независимы и вероятность промаха в каждом выстреле одинакова.

**Задача 13.** На испытания поставлено  $N = 100$  элементов. Испытания проводились в течение  $t = 100$  ч. В процессе проведения испытаний отказало  $n = 5$  элементов, при этом отказы зафиксированы в следующие моменты:  $\tau_1 = 50$  ч;  $\tau_2 = 80$  ч;  $\tau_3 = 90$  ч;  $\tau_4 = 100$  ч;  $\tau_5 = 150$  ч; остальные элементы не отказали. Определить среднюю наработку до отказа  $T_0$ .

**Задача 14.** По данным эксплуатации генератора установлено, что наработка до отказа подчиняется экспоненциальному закону с параметром  $\lambda = 2 \cdot 10^{-5}$  1/час.

Найти вероятность безотказной работы за время  $t = 100$  часов. Определить математическое ожидание наработки до отказа.

**Задача 15.** Определить коэффициент готовности системы, если известно, что среднее время восстановления одного отказа равно  $T_B = 5$  ч, а среднее значение наработки на отказ составляет  $T_0 = 500$  ч.

**Задача 16.** Определить коэффициент технического использования машины, если известно, что машину эксплуатируют в течение года ( $T_3 = 8760$  ч). За этот период эксплуатации машины суммарное время восстановления отказов составило  $t_B = 40$  ч. Время проведения регламента составляет  $t_0 = 20$  ч. Суммарное время, затраченное на ремонтные работы за период эксплуатации составляет 15 суток, т.е.  $t_p = 15 \cdot 24 = 360$  ч.

**Задача 17.** Определить коэффициент оперативной готовности системы за период времени  $t = 10$  ч, если известно, что система состоит из пяти элементов с соответствующими интенсивностями отказов, ч<sup>-1</sup>:  $\lambda_1 = 2 \cdot 10^{-5}$ ;  $\lambda_2 = 5 \cdot 10^{-5}$ ;  $\lambda_3 = 10^{-5}$ ;  $\lambda_4 = 20 \cdot 10^{-5}$ ;  $\lambda_5 = 50 \cdot 10^{-5}$ , а среднее время восстановления при отказе одного элемента равно  $T_B = 10$  ч. Результатами испытаний установлено, что распределение наработки на отказ подчиняется экспоненциальному закону.

**Задача 18.** При эксплуатации в течении 1 года ( $T_3 = 1 \text{ год} = 8760 \text{ ч.}$ ) изделий специального назначения было зафиксировано пять отказов ( $m = 5$ ). На восстановление каждого отказа в среднем затрачено двадцать часов ( $T_в = 20 \text{ ч.}$ ). За указанный период эксплуатации был проведен один регламент (техническое обслуживание). Время регламента составило десять суток ( $T_p = 240 \text{ ч.}$ ). Определить коэффициенты: готовности ( $K_r$ ) и технического использования ( $K_{и}$ ).

**Задача 19.** Определить надежность автомобиля (системы) при движении на заданное расстояние, если известны надежности следующих подсистем: системы зажигания  $p_1 = 0,99$ ; системы питания топливом и смазкой  $p_2 = 0,999$ ; системы охлаждения  $p_3 = 0,998$ ; двигателя  $p_4 = 0,995$ ; ходовой части  $p_5 = 0,997$ .

**Задача 20.** Техническая система предназначена для выполнения некоторой задачи. С целью обеспечения работоспособности система спроектирована со смешанным соединением элементов (рис.).

Определить надежность системы, если известно, что надежность ее элементов равна:  $p_1=0,99$ ;  $p_2=0,98$ ;  $p_3=0,9$ ;  $p_4=0,95$ ;  $p_5=0,9$ ;  $p_6=0,9$ ;  $p_7=0,8$ ;  $p_8=0,75$ ;  $p_9=0,7$ .

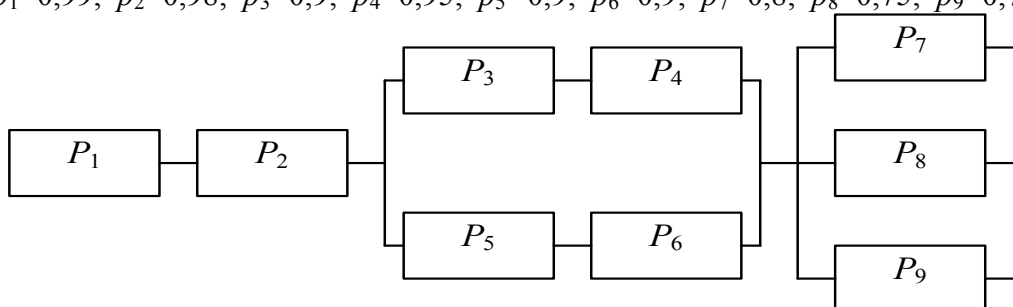


Рисунок - Структурная схема надежности технической системы

**Задача 21.** Сконструировать ручку управления, обеспечивающую вероятность безотказной эксплуатации  $P_3(t) = 0,994$ .

Параметр	Значение	$P(t)$
Длина ручки	152...128	0,9963
Величина перемещения ручки	30...40	0,9975
Соппротивление управлению	2,3...4 кг	0,9999

Вероятность безотказной эксплуатации ручки управления равна

$$P_3(t) = 0,9963 \cdot 0,9975 \cdot 0,999 = 0,9937.$$

Используя опытные данные по надежности работы человека, можно проигнорировать вероятность колебания ошибок человека при выполнении контрольного задания.

**Задача 22.** Рассчитать надежность операции нажатия на кнопку операторов при загорании зеленой лампочки. Исходные данные приведены в табл. 6.2. Расчленим операции на элементы:  $S$  – зажигание лампы,  $R$  – обдувание,  $O$  – нажатие кнопки.

№п.п.	Кнопка	$P(t)$	Лампочка	$P(t)$
1	Диаметр кнопки (миниатюрная)	0,9995	Диаметр лампочки 6,4-12,7	0,9997
2	Один ряд	0,9997	Количество лампочек 3-4	0,9975
3	Расстояние между кнопками 10-13 мм	0,9993	Индикация непрерывная	0,9996
4	Отсутствие фиксации	0,9998		

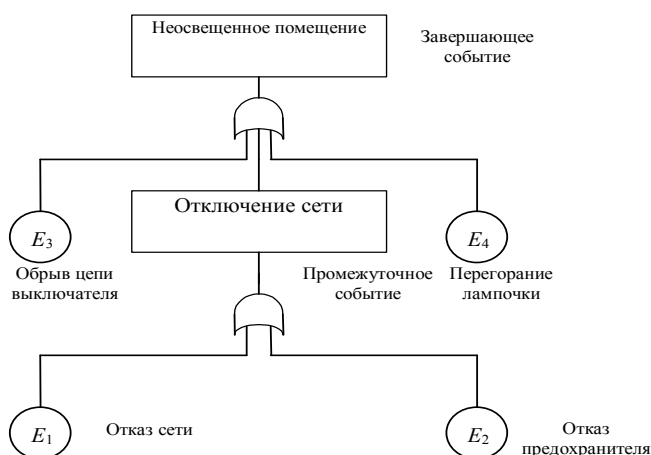
**Задача 23.** Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия в технической системе, состоящей из 3-х подсистем, с независимыми отказами.

Вероятности отказов подсистем:  $P_1 = 10^{-3}$ ,  $P_2 = 10^{-4}$ ,  $P_3 = 10^{-2}$ , ожидаемые ущербы от отказов подсистем  $U_1 = 10 \cdot 10^6$  руб.,  $U_2 = 50 \cdot 10^6$  руб.,  $U_3 = 5 \cdot 10^6$  руб.

**Задача 24.** Провести численную оценку риска чрезвычайного происшествия в технической системе, состоящей из 5-и подсистем с независимыми равновероятными отказами  $P = 10^{-2}$ . Ожидаемые ущербы от отказов подсистем  $U_1 = 5 \cdot 10^6$ ,  $U_2 = 10 \cdot 10^6$ ,  $U_3 = 20 \cdot 10^6$ ,  $U_4 = 15 \cdot 10^6$ ,  $U_5 = 25 \cdot 10^6$ .

**Задача 25.** Требуется построить дерево неисправностей для простой системы — комнаты, в которой имеются выключатель и электрическая лампочка. Считается, что отказ выключателя состоит лишь в том, что он не замыкается, а завершающим событием является отсутствие освещения в комнате.

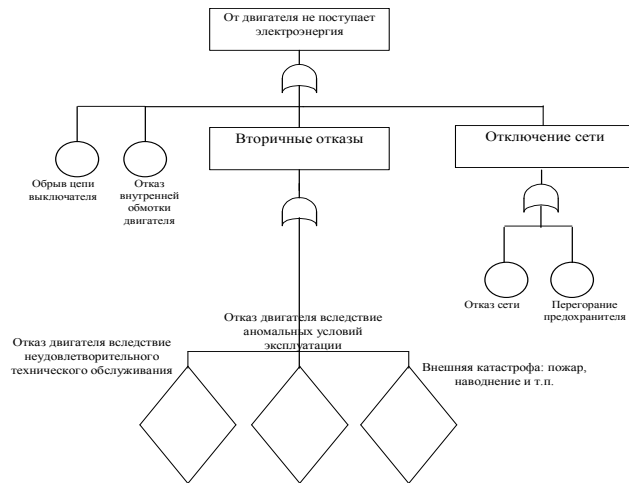
Дерево неисправностей для той системы показано на рис 9.1. Основными, или первичными, событиями дерева неисправностей являются (1) отказ источника питания  $E_1$ , (2) отказ предохранителя  $E_2$ , (3) отказ выключателя  $E_3$  и (4) перегорание лампочки  $E_4$ .



Дерево неисправностей для случая первичных отказов.

Промежуточным событием является прекращение подачи электроэнергии. Наибольший интерес представляет завершающее событие - «отсутствие света в комнате», и поэтому именно ему уделяется основное внимание при анализе. Дерево неисправностей, изображенное на рисунке, показывает, что исходные события представляют собой входы схем *ИЛИ*: при наступлении любого из четырех первичных событий  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $E_3$ ,  $E_4$  осуществляется завершающее событие (отсутствие света в комнате).

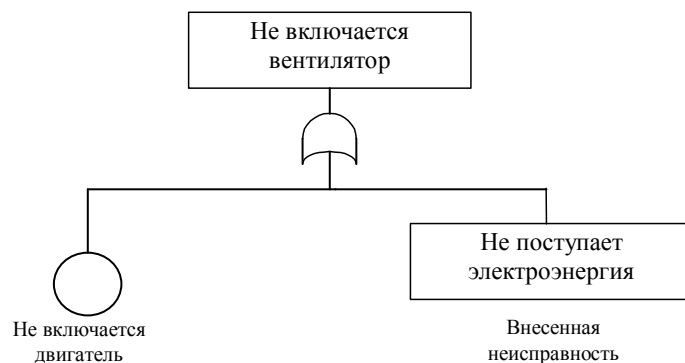
**Задача 26.** На рисунке показано простое дерево неисправностей с завершающим событием «прекращение выработки электроэнергии генератором». Дерево отказов отображает такие первичные события, как отказ выключателя (отсутствие замыкания), неисправности внутренних цепей двигателя, источника питания и предохранителя. Вторичные отказы изображаются прямоугольником как промежуточное событие.



Дерево неисправностей для случая вторичных отказов.

Вторичные отказы, изображенные на рисунке, происходят вследствие неудовлетворительного технического обслуживания, неблагоприятного воздействия внешней среды, стихийного бедствия и т. д.

Задача 27. Типичным инициированным отказом является поступление ошибочного сигнала на какое-либо электротехническое устройство (двигатель или преобразователь). Взаимосвязь между основными и инициированными отказами показана на рисунке.



Дерево неисправностей для случая основных и инициированных отказов.

Многообразие причин аварийности и травматизма наиболее полно и удобно представляется в виде диаграммы-дерева причин, отражающей процесс появления и развития цепи предпосылок. Основными компонентами диаграммы причин или опасностей являются узлы (или вершины) и взаимосвязи между ними. В качестве узлов подразумеваются события, свойства и состояния элементов рассматриваемой системы, а также логические условия их трансформации (сложение «ИЛИ» и перемножение «И»).

Операция «И» означает, что перед тем, как произойдет некоторое событие «А», должно произойти несколько событий, «Б» и «В».

В вероятностном аспекте такая операция выражается логическим произведением:

$$P(A) = P(B) * P(V).$$

Операция «ИЛИ» означает, что некоторое событие «Г» будет иметь место, если произойдет хотя бы одно из нескольких событий или все события «Д» и «Е».

В этом случае вероятность появления события «Г» будет иметь вид алгебраической суммы:

$$P(\Gamma) = P(D) + P(E) - P(D) * P(E).$$



**Задача 28.** Гибель человека от электрического тока может произойти при включении его тела в электрическую цепь с достаточной для этого силой тока. Следовательно, чтобы произошел несчастный случай (головное событие «А»), необходимо одновременное существование трех условий (рис.).

Условие «Б» – наличие потенциально высокого напряжения на корпусе электрической установки.

Событие «В» означает появление человека на токопроводящем основании, соединенном с землей.

Событие «Г» - касание телом человека корпуса электроустановки.

В свою очередь, событие «Б» может быть следствием любого из двух событий – предпосылок «Д» и «Е», где «Д» – понижение сопротивления изоляции токоведущих частей, а событие «Е» – касание ими корпуса установки.

Событие «В» также обуславливается двумя предпосылками: «Ж» – вступление человека на токопроводящее основание и «З» – касание его туловищем заземленных элементов помещения.

Событие «Г» является результатом появления одной из трех предпосылок: «И» – потребность ремонта, «К» – потребность техобслуживания и «Л» – использование электроустановки по назначению, или нормальная эксплуатация установки.

Анализ дерева опасности состоит в выявлении условий, минимально необходимых и достаточных для возникновения или не возникновения головного события «А».

Аналитически выражение условия реализации данного несчастного случая имеет вид:

$$P(A) = P(B) * P(V) * P(\Gamma) = [P(D) + P(E)] * [P(\text{Ж}) + P(\text{З})] * [P(\text{И}) + P(\text{К}) + P(\text{Л})].$$

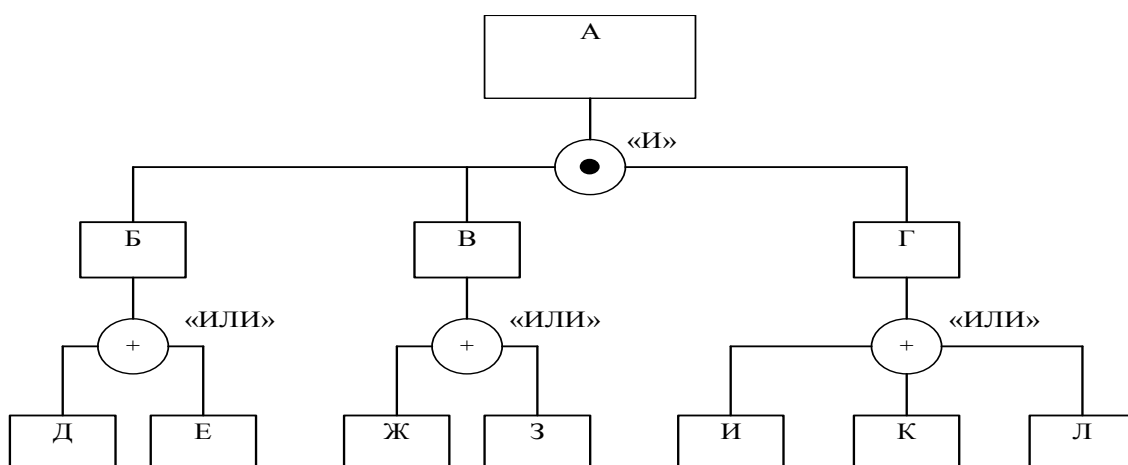
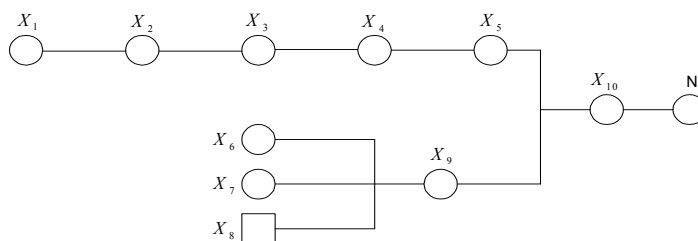


Рис. Дерево причин поражения человека электрическим током

**Задача 29.** Во дворе предприятия водитель тягача приступил к сцепке тягача с прицепом. Операция осложнилась из-за различной высоты тягача и прицепа, и водитель спустился вниз, чтобы выяснить причину, забыв поставить тягач на тормоз. Когда водитель находился между прицепом и тягачом, тягач с работающим двигателем скатился назад по небольшому уклону и придавил водителя к раме прицепа.



Дерево причин аварии тягача:

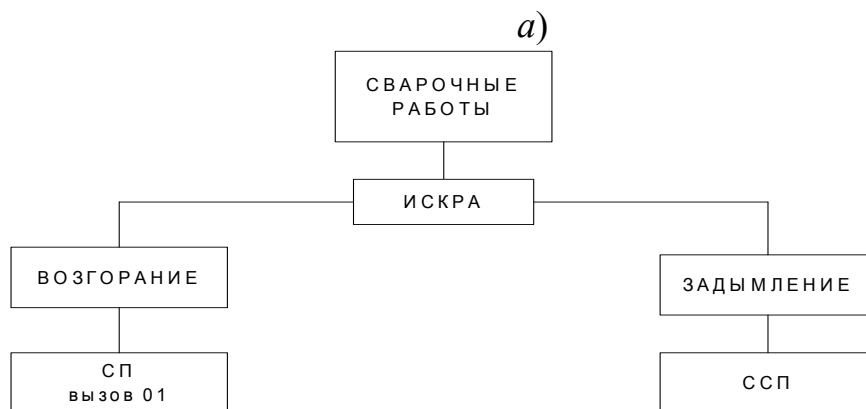
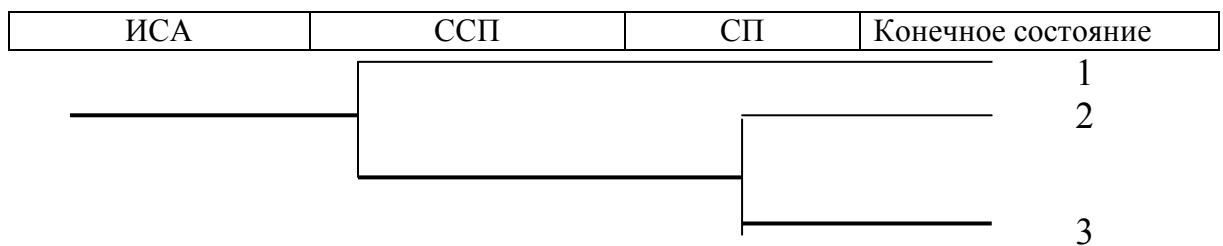
$X_1$  - обычно используемый тягач вышел из строя;  $X_2$  - другой тягач использовался в работе;  $X_3$  - различие в высоте прицепа и нового тягача;  $X_4$  - осуществление сцепки затруднено;  $X_5$  - водитель встает между тягачом и прицепом;  $X_6$  - не включен ручной тормоз;  $X_7$  - вибрации от работающего двигателя;  $X_8$  - двор имеет уклон;  $X_9$  - тягач движется к прицепу;  $X_{10}$  - водитель зажимается между прицепом и тягачом;  $N$  - несчастный случай (травма); ( $X_8$  - факт постоянного характера; остальные случайного).

Анализ происшествия состоит в выяснении причин несчастного случая, выявлении источников опасности и выработке предупредительных мероприятий. Результаты анализа приведены в таблице.

Результаты анализа происшествия

Причины несчастного случая	Источники опасности	Предупредительные мероприятия
Двор с уклоном	Неподходящие места стоянки	Реконструкция двора
Тягач, вышедший из строя	Поломка оборудования	Предупредительный ремонт транспортных средств
Разная высота прицепа и тягача	Техническая несовместимость оборудования	Стандартизация соединения оборудования
Неустановленный тормоз, работающий двигатель	Недостаточная подготовка персонала	Инструктаж водителей

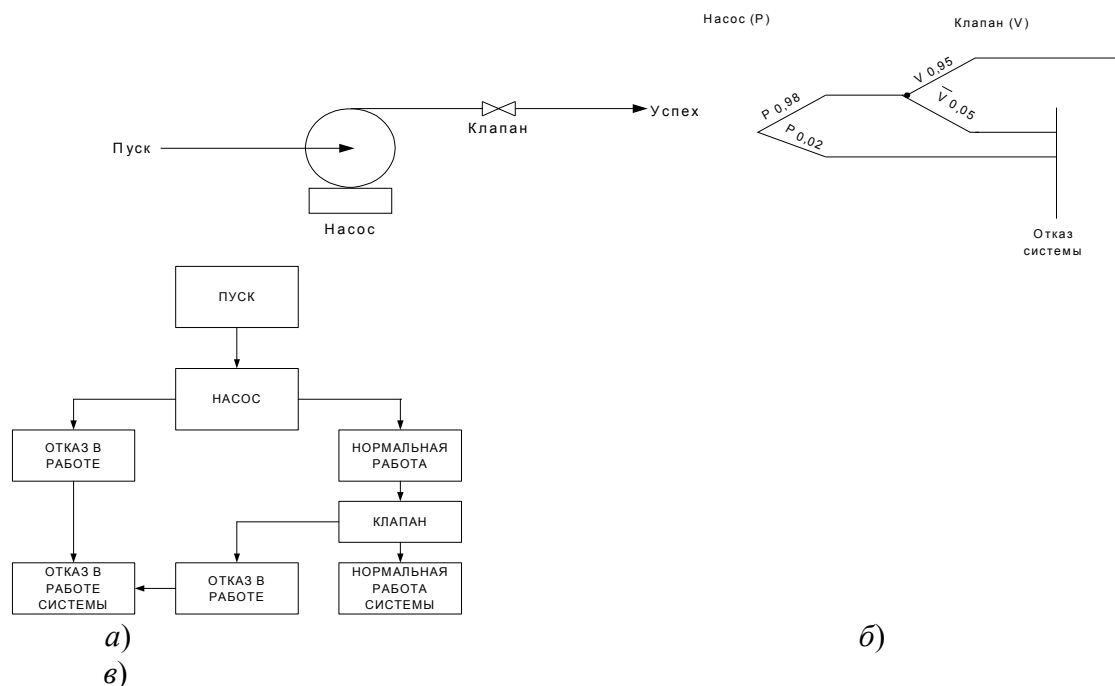
**Задача 30.** При построении «дерева событий» для определения безопасности выполнения сварочных работ исходное событие аварии (ИСА) – искра, вызывающая возгорание. В случае возникновения задымления в помещении автоматически срабатывает спринклерная система пожаротушения (ССП). При большом очаге пожара необходимо в соответствии с инструкцией включить систему пожаротушения (СП) и вызвать пожарных. Возможное «дерево событий» представлено на рис., где «ступенька» вверх означает срабатывание соответствующей системы, а «ступенька» вниз – ее отказ.



б)

Рис. Дерево событий при выполнении сварочных работ: а) – принципиальная схема; б) – диаграмма событий

**Задача 31.** На рис. показана система последовательно соединенных элементов, которая включает насос и клапан, имеющие соответственно вероятности безотказной работы 0,98 и 0,95, а также приведено дерево решений для этой системы. Согласно принятому правилу верхняя ветвь соответствует желательному варианту работы системы, а нижняя - нежелательному. Дерево решений читается слева направо. Если насос не работает, система отказывает независимо от состояния клапана. Если насос работает, с помощью второй узловой точки изучается ситуация, работает ли клапан.



Дерево решений для двухэлементной схемы (работа насоса):  
 а) – принципиальная схема; б) – дерево решений; в) - диаграмма решений.

Вероятность безотказной работы системы  $0,98 \times 0,95 = 0,931$ . Вероятность отказа  $0,98 \times 0,05 + 0,02 = 0,069$ , и суммарная вероятность двух состояний системы равна единице.

Этот результат можно получить другим способом с помощью таблицы истинности.

Таблица истинности

Состояние насоса	Состояние клапана	Вероятность работоспособного состояния системы	Вероятность отказа системы
Работает	Работает	$0,98 \times 0,95$	-
Отказ	Работает	-	$0,02 \times 0,95$
Работает	Отказ	-	$0,98 \times 0,05$
Отказ	Отказ	-	$0,02 \times 0,05$
Суммарная величина		0,931	0,069

Методы анализа деревьев – наиболее трудоемки, они применяются для анализа проектов или модернизации сложных технических систем и производств и требуют высокой квалификации исполнителей.

**Задача 32.** Требуется вычислить вероятность появления завершающего события дерева неисправностей, изображенного на рисунке.

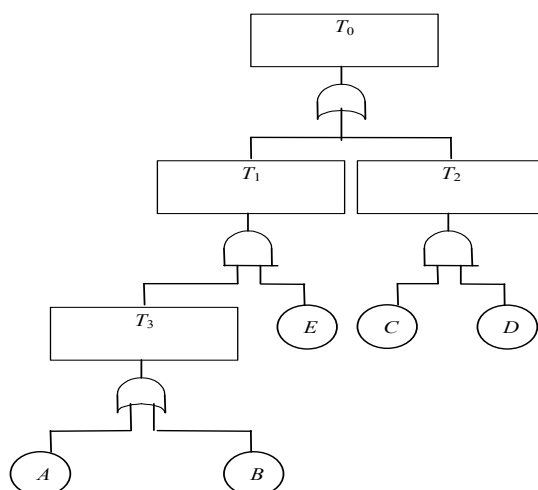


Рис. 9.16. Гипотетическое дерево событий.

Допустим, что основные события  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $E$  статистически независимы и что  $P(A) = P(B) = P(C) = P(D) = P(E) = 1/4$ . В данном случае дерево не содержит повторяющихся элементарных событий, поэтому можно вычислить вероятность конкретных событий на выходе каждой логической схемы. Однако если бы в ветвях дерева неисправностей присутствовали повторяющиеся события, то прежде чем вычислять вероятности тех или иных событий на выходе каждой логической схемы, необходимо было бы исключить повторяющиеся событий (т.е. получить минимальные сечения).

#### Перечень вопросов к зачету (промежуточная аттестация)

1. Основные понятия надежности технических систем.
2. Показатели надежности технических систем.
3. Модели распределений, используемых в теории надежности.
4. Математические зависимости для оценки надежности.
5. Функциональные зависимости надежности.
6. Теорема сложения вероятностей.
7. Теорема умножения вероятностей.
8. Формула полной вероятности.
9. Причины потери работоспособности технического объекта
10. Источники и причины изменения начальных параметров технической системы.
11. Процессы, снижающие работоспособность системы
12. Анализ закономерностей изменения свойств материалов
13. Законы состояния.
14. Законы старения.
15. Множественные отказы.
16. Показатели надежности невосстанавливаемого элемента.
17. Показатели надежности восстанавливаемого элемента.
18. Показатели надежности системы, состоящей из независимых элементов.
19. Выбор и обоснование показателей надежности технических систем.
20. Распределение нормируемых показателей надежности.
21. Расчет показателей надежности технических систем.

22. Структурная схема надежности системы с последовательным соединением элементов.
23. Структурные схемы надежности систем с параллельным соединением элементов.
24. Структурные схемы надежности систем с другими видами соединения элементов.
25. Проектный расчет надежности технической системы.
26. Применение теории надежности для оценки безопасности технических систем.
27. Показатели надежности при оценке безопасности систем «человек – машина» (СЧМ).
28. Логико-графические методы анализа надежности и риска.
29. Определения и символы, используемые при построении дерева.
30. Построение дерева отказов.
31. Преимущества и недостатки метода дерева отказов.
32. Методы обеспечения надежности сложных систем.
33. Основы теории и практики техногенного риска.
34. Понятие техногенного риска.
35. Качественные методы анализа риска.
36. Количественная оценка риска.
37. Критерии приемлемого риска.
38. Управление риском.
39. Применение теории риска в технических системах.
40. Оценка риска аварий
41. Критерии и количественные характеристики надежности
42. Критерии надежности невосстанавливаемых изделий
43. Критерии надежности восстанавливаемых изделий
44. Расчет надежности системы вентиляции
45. Анализ риска системы вентиляции
46. Расчет надежности пылеобразующих машин
47. Анализ риска пылеобразующих машин
48. Расчет надежности сварочного цеха
49. Анализ риска сварочного цеха
50. Расчет надежности окрасочной линии
51. Анализ риска окрасочной линии
52. Расчет надежности системы газоснабжения
53. Анализ риска системы газоснабжения
54. Анализ риска от усорезной пилы
55. Анализ риска от вальцов

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### Основная литература

1. Рыков В.В., Иткин В.Ю. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие. - М.: ИНФРА-М, 2016.-192 с.
2. Дорохов А.Н. Обеспечение надежности сложных технических систем: учебник для вузов. СПб.: Лань, 2016.- 352 с.
3. Лисунов Е.А. Практикум по надежности технических систем. - Сп-Б, М., Краснодар, 2015
4. Обеспечение надежности сложных технических систем [Электронный ресурс] : учеб. / А.Н. Дорохов [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 352 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93594>. — Загл. с экрана.
5. Малафеев, С.И. Надежность технических систем. Примеры и задачи



[Электронный ресурс] : учеб. пособие / С.И. Малафеев, А.И. Копейкин. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 316 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/87584>. — Загл. с экрана.

6. Надежность технических систем и техногенный риск [Электронный ресурс]: Учебное пособие/. Воронеж: ВГАСУ, ЭБС АСВ, 2013.— 147 с.Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=23110>.

7. Гуськов А.В. Надежность технических систем и техногенный риск: Учебник Новосибирск: НГТУ, 2012.— 425 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=45116>

#### Дополнительная литература

1. Ефремов И.В.Техногенные системы и экологический риск: Учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2016.— 171 с.— Режим доступа: <http://www.bibliocomplectator.ru/book/?id=61417>.

2. Лисунов, Е.А. Практикум по надежности технических систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 240 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/56607>

### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Специальные помещения:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа - корпус 4 аудитория 4: видеопроjectionное оборудование, средства звуковоспроизведения (Экран ScreenMedia настенный рулонный, Проектор BenG MP 623), учебно-наглядные пособия (комплект цветных плакатов)

Учебные аудитории для проведения практических и лабораторных занятий (занятий семинарского типа), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации:

корпус 4 аудитория 2: учебно-наглядные пособия (комплект цветных плакатов), Ноутбук (программно-аппаратный комплекс) Lenovo – B590-016, Ноутбук (программно-аппаратный комплекс) Lenovo – B590-016, Ноутбук Samsung NP-RV408-A01, переносное оборудование.

корпус 4 аудитория 3: Видеомagnитофон, телевизор 20F-89, DVD-плеер, комплект видеокниг, учебно-наглядные пособия (комплект цветных плакатов), переносное оборудование.

корпус 4 аудитория 4: видеопроjectionное оборудование, средства звуковоспроизведения (Экран ScreenMedia настенный рулонный, Проектор BenG MP 623), учебно-наглядные пособия (комплект цветных плакатов) , переносное оборудование.

корпус 4 аудитория 5: учебно-наглядные пособия, шкаф лабораторный вытяжной, переносное оборудование.

корпус 4 аудитория 9а лаборатория «Обеспечение безопасности на производстве и в чрезвычайных ситуациях» Лабораторная установка БЖ-8 «Методы очистки воды» с НХС вода, Лабораторный стенд «Пожаро-охранная сигнализация», Лабораторный стенд «Исследование освещенности», Лабораторный стенд «Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателя», Лабораторный стенд «Измерение удельного сопротивления грунта», Лабораторный стенд «Исследование запыленности воздуха», Лабораторный стенд «Безопасность жизнедеятельности. Электробезопасность» НТЦ-17.55.3, первичные и основные средства пожаротушения, шансовый инструмент.

аудитория 4-10: 10 компьютеров с выходом в локальную сеть и Интернет, доступом к справочно-правовой системе Консультант, электронным учебно-методическим материалам, библиотечному электронному каталогу, ЭБС, к электронной информационно-образовательной среде.

Помещение для самостоятельной работы (аудитория корпус 4 аудитория 10) - 10 компьютеров с выходом в локальную сеть и Интернет, доступом к справочно-правовой

системе Консультант, электронным учебно-методическим материалам, библиотечному электронному каталогу, ЭБС, к электронной информационно-образовательной среде.

Помещение для самостоятельной работы (читальный зал Брянского ГАУ) - 15 компьютеров с выходом в локальную сеть и Интернет, доступом к справочно-правовой системе Консультант, электронным учебно-методическим материалам, библиотечному электронному каталогу, ЭБС, к электронной информационно-образовательной среде.