

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория надежности механических систем

Уровень высшего образования

Специалитет

Направление подготовки / специальность

01.05.01 - Фундаментальные математика и механика

Направленность образовательной программы

Фундаментальная механика и приложения

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.01 Теория надежности механических систем относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-11: Умение использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование	<p>ПК-11.1: Знает теоретические основы физического и компьютерного моделирования, основы эксперимента в механике</p> <p>ПК-11.2: Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование для решения задач механики на основе полученных теоретических знаний</p> <p>ПК-11.3: Имеет практический опыт использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики</p>	<p>ПК-11.1: Знать теоретических основ физического и компьютерного моделирования, основы, специализированные разделы теории вероятности и случайных процессов, необходимые при решении типовых задач теории надёжности механических систем</p> <p>ПК-11.2: Уметь использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, формулировать и решать прикладные задачи теории надёжности механических систем</p> <p>ПК-11.3: Владеть практическим опытом использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики. Владеет положениями механики материалов и конструкций, необходимых для осознанного применения моделей теории надёжности, опыт применения математического</p>	Собеседование Контрольная работа	Зачёт: Контрольные вопросы

		моделирования		
ПК-12: Владение навыками применения математически сложных алгоритмов в современных специализированных программных комплексах, реализации в них собственных методов, моделей и алгоритмов	ПК-12.1: Знает теоретические основы фундаментальных компьютерных наук ПК-12.2: Умеет ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики ПК-12.3: Имеет практический опыт использования математически сложных алгоритмов в современных программных комплексах, включая реализацию в них собственных методов и моделей	ПК-12.1: Знать теоретические основы фундаментальных компьютерных наук. Знает разделы теории надёжности и смежных дисциплин, необходимые при реализации моделей ПК-12.2: Уметь ориентироваться в современных алгоритмах компьютерной математики при решении задач надёжности, проводить их доказательства, реализовывать известные модели, обрабатывать исходную и выходную информацию в соответствии с поставленными целями ПК-12.3: Владеть практическим опытом использования математически сложных алгоритмов применяемых при реализации математических моделей надёжности, включая реализацию в них собственных методов и моделей	Собеседование Контрольная работа	Зачёт: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0

	Зачёт
--	-------

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0	0 ф 0
1. Введение. Историческая справка. Цели и задачи теории надежности. Основные составляющие. Системная и параметрическая теория надежности. Прогнозирование ресурса. Вероятностный характер параметров конструкций, внешних воздействий и прочих факторов. Экономические аспекты надежности.	13	2	2	4	9
2. Терминология. Государственный стандарт. Понятие надежности, безотказности, долговечности. Работоспособное, предельное состояния. Отказ, виды отказов. Нарботка, ресурс, другие временные характеристики. Интенсивность отказов. Вероятность безотказной работы.	14	2	2	4	10
3. Общая теория надежности. Понятие пространств качества, нагрузки, состояния. Математическая формулировка задачи надежности. Процесс накопления необратимых повреждений, ведущих к отказу. Уравнение накопления повреждений.	14	2	2	4	10
4. Надежность работы изделия до первого отказа. Показатели безотказности, долговечности. Зависимости между показателями безотказности. Статистические оценки показателей по результатам испытаний. Экспоненциальный закон надежности, другие используемые законы.	14	2	2	4	10
5. Надежность изделия при внезапных отказах. Модель оценки вероятности безотказной работы при однократном воздействии (модель «нагрузка-прочность»). Прогнозирование вероятности безотказной работы в случае, когда внешнее воздействие задается потоком независимых дискретных воздействий. Применение теории выбросов случайных процессов для оценки вероятности безотказной работы.	13	2	2	4	9
6. Надежность изделия при постепенных отказах. Нахождение вероятности безотказной работы изделия в случае линейного закона накопления повреждений. Прогнозирование времени достижения предельного состояния изделия при использовании различных видов уравнения накопления повреждений.	13	2	2	4	9
7. Надежность работы систем до первого отказа. Расчет надежности системы по показателям надежности ее элементов. Последовательное соединение элементов. Модель гибели. Резервирование. Метод Байеса.	13	2	2	4	9
8. Оптимизационные задачи. Постановки оптимизационных задач с учетом требований по ресурсу, вероятности безотказной работы.	13	2	2	4	9
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Историческая справка. Цели и задачи теории надежности. Основные составляющие. Системная и параметрическая теория надежности. Прогнозирование ресурса. Вероятностный характер параметров конструкций, внешних воздействий и прочих факторов. Экономические аспекты надежности.
2. Терминология. Государственный стандарт. Понятие надежности, безотказности, долговечности. Работоспособное, предельное состояния. Отказ, виды отказов. Нарботка, ресурс, другие временные характеристики. Интенсивность отказов. Вероятность безотказной работы.
3. Общая теория надежности. Понятие пространств качества, нагрузки, состояния. Математическая формулировка задачи надежности. Процесс накопления необратимых повреждений, ведущих к отказу. Уравнение накопления повреждений.
4. Надежность работы изделия до первого отказа. Показатели безотказности, долговечности. Зависимости между показателями безотказности. Статистические оценки показателей по результатам испытаний. Экспоненциальный закон надежности, другие используемые законы.
5. Надежность изделия при внезапных отказах. Модель оценки вероятности безотказной работы при однократном воздействии (модель «нагрузка-прочность»). Прогнозирование вероятности безотказной работы в случае, когда внешнее воздействие задается потоком независимых дискретных воздействий. Применение теории выбросов случайных процессов для оценки вероятности безотказной работы.
6. Надежность изделия при постепенных отказах. Нахождение вероятности безотказной работы изделия в случае линейного закона накопления повреждений. Прогнозирование времени достижения предельного состояния изделия при использовании различных видов уравнения накопления повреждений.
7. Надежность работы систем до первого отказа. Расчет надежности системы по показателям надежности ее элементов. Последовательное соединение элементов. Модель гибели. Резервирование. Метод Байеса.
8. Оптимизационные задачи. Постановки оптимизационных задач с учетом требований по ресурсу, вероятности безотказной работы.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Виды самостоятельной работы студентов:

1. проработка теоретического материала лекционных занятий;
2. подготовка к выполнению письменных контрольных работ;
3. подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена.

1. Проработка теоретического материала лекционных занятий

Выполняется самостоятельно с использованием лекционных материалов. Контроль выполняется в форме проведения ежемесячного письменного экспресс - опроса по понятиям, фактам, формулировкам, выполняемого в течение 15 минут на научно-практических занятиях. Опросы включают по пять коротких вопросов и оцениваются баллами от 0 до 5 (сумма баллов, полученных за ответ на каждый вопрос), а также итоговым двоичным показателем «зачтено» - «не зачтено». «Зачтено» соответствует полученным баллам от 3 и выше.

2. Подготовка к выполнению письменных контрольных работ

В течение семестра проводится одна домашняя контрольная работа по материалам разделов лекционного курса.

Для подготовки к контрольным работам рекомендуется повторно прочитать соответствующий лекционный материал, просмотреть полезные разделы в соответствующих источниках из списка рекомендованной литературы, а также самостоятельно решить несколько задач по теме контрольной работы.

3. Подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена

В качестве методических материалов при подготовке к экзамену рекомендуется использовать собственные конспекты лекций, просмотреть решения задач, выполненные на практических занятиях и во время выполнения домашних заданий, а также источники, рекомендованные в списке литературы.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. Математическая формулировка задачи надежности
2. Область применимости модели «нагрузка-прочность».
3. Достоинства и недостатки экспоненциальной модели внезапного отказа
4. Соотношения экспоненциальной модели и модели, в которой внешнее воздействие задается потоком независимых дискретных воздействий
5. Возможные обобщения модели вероятности безотказной работы изделия в случае линейного закона накопления повреждений
6. Достоинства и недостатки асимптотических подходов к оценке ВБР

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-12:

1. Прикладные аспекты модели «нагрузка-прочность» в задачах механики материалов и конструкций.
2. Прикладные аспекты экспоненциальной модели внезапных отказов
3. Прикладные аспекты модели, в которой внешнее воздействие задается потоком независимых дискретных воздействий
4. Прикладные аспекты модели вероятности безотказной работы изделия в случае линейного закона накопления повреждений в задачах прочности материалов
5. Прикладные аспекты модели «гибели».
6. Прикладные аспекты работы систем при последовательном соединении в строительной механике.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Опросы включают по пять коротких вопросов и оцениваются баллами от 0 до 5 (сумма баллов, полученных за ответ на каждый вопрос). 3 балла и выше.
не зачтено	0-2 балла

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. Проведено испытание 1000 однотипных изделий. Число отказавших изделий фиксировалось через каждые 1000 час. работы:

Временной интервал (час).	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий
0-1000	20	9000-10000	30	18000-19000	50
1000-2000	25	10000-11000	40	19000-20000	35
2000-3000	35	11000-12000	40	20000-21000	35
3000-4000	50	12000-13000	50	21000-22000	50
4000-5000	30	13000-14000	40	22000-23000	35
5000-6000	50	14000-15000	50	23000-24000	25
6000-7000	40	15000-16000	40	24000-25000	30
7000-8000	40	16000-17000	50	25000-26000	20
8000-9000	50	17000-18000	40	-	-

Определить: ВБР, частоту и интенсивность отказов, среднюю наработку до первого отказа. Построить графики характеристик

2. Шарнирно-опёртая балка постоянного поперечного сечения нагружена посредине переменной сосредоточенной силой, описываемой случайным процессом. Нормальная эксплуатация балки возможна при отсутствии пластических деформаций. Необходимо дать полную постановку задачи теории надёжности.

3. Интенсивность отказов изделия $\lambda = 0,82 \times 10^{-3} \text{ час}^{-1}$. Необходимо найти ВБР изделия в течение 6 час. работы изделия, частоту отказов при $t=100$ час. и среднюю наработку до первого отказа в предположении о справедливости применения экспоненциального закона.

4. Нарботка изделия до отказа распределена по закону Вейбулла с параметрами $a = 10^4$ час, $b = 2$. Найти ВБР для наработки $t = 300$ час.

5. В результате анализа данных об отказах изделия установлено, что плотность распределения времени до отказа имеет вид $f(t) = 2ke^{-kt}(1 - e^{-kt})$. Необходимо определить ВБР, интенсивность отказов.

6. Рассчитать на прочность элемент конструкции (стержень), на который действует растягивающая нагрузка Q , являющаяся с.в. Предел прочности R материала, из которого изготовлен элемент, также является с.в.

С.в. Q и R описываются нормальным законом распределения с параметрами соответственно $N(1780\text{Н}, (445 \text{ Н})^2)$, $N(690\text{МПа}, (34,5 \text{ МПа})^2)$. Требуемая ВБР элемента равна $P^* = 0,999$. Определить площадь стержня.

8. Система состоит из N групп элементов. Отказы элементов первой группы подчинены экспоненциальному закону с интенсивностью отказов λ , отказы элементов второй группы – нормальному закону с параметрами T, S , отказы элементов третьей группы – закону Вейбулла с параметрами m, α . Требуется определить ВБР системы в течение времени t .

N	$\lambda \cdot 10^{-4}$ час ⁻¹	T_1 час.	S_1 час.	$m \cdot 10^{-5}$ час ⁻¹	α	t час
3	1	7200	2000	0,1	1,5	100

Вариант 2

1. Проведено испытание 1000 однотипных изделий. Число отказавших изделий фиксировалось через каждые 1000 час работы:

Временной интервал (час).	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий
0-100	50	1000-1100	15	2000-2100	12
100-200	40	1100-1200	14	2100-2200	13
200-300	32	1200-1300	14	2200-2300	12
300-400	25	1300-1400	13	2300-2400	13
400-500	20	1400-1500	14	2400-2500	14
500-600	17	1500-1600	13	2500-2600	16
600-700	16	1600-1700	13	2600-2700	20
700-800	16	1700-1800	13	2700-2800	25
800-900	15	1800-1900	14	2800-2900	30
900-1000	14	1900-2000	12	2900-3000-	40

Определить: ВБР, частоту и интенсивность отказов, среднюю наработку до первого отказа. Построить графики характеристик

2. Стержневая система нагружена квазистатическими сосредоточенными силами $Q_1(t)$ и $Q_2(t)$, описываемыми случайным процессом. Нормальная эксплуатация стержневой системы возможна при отсутствии пластических деформаций. Необходимо дать полную постановку задачи теории надёжности.

3. Вероятность безотказной работы автоматической линии в течение 120 час равна 0,9. В предположении о справедливости экспоненциального закона рассчитать интенсивность отказов и частоту отказов для $t = 120$ час, а также среднюю наработку до первого отказа.

4. Нарботка изделия до отказа распределена по закону Вейбулла с параметрами $a = 104$ час, $b = 0,3$. Найти наработку до отказа соответствующую $P = 0,9$.

5. В результате анализа данных об отказах изделий установлено, что ВБР определяется формулой $P(t) = 3e^{-kt} - 3ke^{-2kt} + e^{-3kt}$. Требуется найти характеристики $f(t)$, $\lambda(t)$, $T_{ср}$.

6. Рассчитать на прочность элемент конструкции (стержень круглого сечения), на который действует крутящий момент, являющийся с.в. Расчетное сопротивление сдвигу R также является с.в. С.в. M и R описываются нормальным законом распределения с параметрами соответственно $N(29 \text{ кНм}, (1,5 \text{ кНм})^2)$, $N(60 \text{ МПа}, (3 \text{ МПа})^2)$. Требуемая ВБР элемента равна $P^* = 0,999$. Определить радиус стержня.

8. Система состоит из N групп элементов. Отказы элементов первой группы подчинены экспоненциальному закону с интенсивностью отказов λ , отказы элементов второй группы – нормальному закону с параметрами T, S , отказы элементов третьей группы – закону Вейбулла с параметрами m, α . Требуется определить ВБР системы в течение времени t .

N	$\lambda \cdot 10^{-4}$ час ⁻¹	T_1 час.	S_1 час.	$m \cdot 10^{-5}$ час ⁻¹	α	t час
2	-	6000	4000	0,3	1,5	1000

Вариант 3

1. Проведено испытание 45 изделий и получены данные до первого отказа всех изделий:

Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий
0-10	19	30-40	3	60-70	1
10-20	13	40-50	0	-	-
20-30	8	50-60	1	-	-

Определить: ВБР, частоту и интенсивность отказов, среднюю наработку до первого отказа. Построить графики характеристик.

2. Элемент конструкции – круглая пластина радиусом R , нагружена в центре сосредоточенной силой P , величина которой случайна, концы пластины зашпелены по всему контуру. Нормальная эксплуатация пластин возможна при выполнении требований по жёсткости. Необходимо дать полную постановку задачи теории надёжности.

3. Интенсивность отказов изделия равна $\lambda = 10^{-6} \text{ час}^{-1}$. Найти: ВБР для $t = 10^4 \text{ час}$, $2 \cdot 10^4 \text{ час}$, ВБР в интервале $[10^4, 2 \cdot 10^4] \text{ час}$.

4. Нарботка изделия до отказа распределена по закону Вейбулла с параметрами $a = 10^4$ час, $b = 0,4$. Найти значение величины интенсивности отказов для $t = 300$ час.

5. Плотность распределения времени до отказа описывается формулой $f(t) = 6ke^{-2kt}(1 - e^{-kt})$. Найти среднюю наработку до первого отказа, ВБР.

6. Рассчитать на жёсткость элемент конструкций (стержень круглого сечения), на который действует крутящий момент M , являющийся с.в. Допускаемый относительный угол закручивания φ является с.в. С.в. M и φ описываются нормальным законом распределения с параметрами соответственно $N(40 \text{ кН м}, (3 \text{ кН м})^2)$, $N(60 \text{ град/м}, (0,01 \text{ град/м}))$. Требуемая ВБР элемента равна $P^* = 0,9999$. Определить радиус стержня.

8. Система состоит из N групп элементов. Отказы элементов первой группы подчинены экспоненциальному закону с интенсивностью отказов λ , отказы элементов второй группы – нормальному закону с параметрами T, S , отказы элементов третьей группы – закону Вейбулла с параметрами m, α . Требуется определить ВБР системы в течение времени t .

N	$\lambda \cdot 10^{-4}$ час ⁻¹	T_1 час	S_1 час	m 10 ⁻⁵ час ⁻¹	α	t час
2	3,2	-	-	0,2	1,3	500

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-12:

Вариант 1

1. Проведено испытание 1000 однотипных изделий. Число отказавших изделий фиксировалось через каждые 1000 час. работы:

Временной интервал (час).	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий
0-1000	20	9000-10000	30	18000-19000	50

1000-2000	25	10000-11000	40	19000-20000	35
2000-3000	35	11000-12000	40	20000-21000	35
3000-4000	50	12000-13000	50	21000-22000	50
4000-5000	30	13000-14000	40	22000-23000	35
5000-6000	50	14000-15000	50	23000-24000	25
6000-7000	40	15000-16000	40	24000-25000	30
7000-8000	40	16000-17000	50	25000-26000	20
8000-9000	50	17000-18000	40	-	-

Определить: ВБР, частоту и интенсивность отказов, среднюю наработку до первого отказа. Построить графики характеристик

2. Шарнирно-опёртая балка постоянного поперечного сечения нагружена посередине переменной сосредоточенной силой, описываемой случайным процессом. Нормальная эксплуатация балки возможна при отсутствии пластических деформаций. Необходимо дать полную постановку задачи теории надёжности.

3. Интенсивность отказов изделия $\lambda = 0,82 \times 10^{-3} \text{ час}^{-1}$. Необходимо найти ВБР изделия в течение 6 час. работы изделия, частоту отказов при $t=100$ час. и среднюю наработку до первого отказа в предположении о справедливости применения экспоненциального закона.

4. Нарботка изделия до отказа распределена по закону Вейбулла с параметрами $a = 10^4$ час, $b = 2$. Найти ВБР для наработки $t = 300$ час.

5. В результате анализа данных об отказах изделия установлено, что плотность распределения времени до отказа имеет вид $f(t) = 2ke^{-kt}(1 - e^{-kt})$. Необходимо определить ВБР, интенсивность отказов.

6. Рассчитать на прочность элемент конструкции (стержень), на который действует растягивающая нагрузка Q , являющаяся с.в. Предел прочности R материала, из которого изготовлен элемент, также является с.в.

С.в. Q и R описываются нормальным законом распределения с параметрами соответственно $N(1780\text{Н}, (445\text{Н})^2)$, $N(690\text{МПа}, (34,5\text{МПа})^2)$. Требуемая ВБР элемента равна $P^* = 0,999$. Определить площадь стержня.

8. Система состоит из N групп элементов. Отказы элементов первой группы подчинены экспоненциальному закону с интенсивностью отказов λ , отказы элементов второй группы – нормальному закону с параметрами T, S, отказы элементов третьей группы – закону Вейбулла с параметрами m, α . Требуется определить ВБР системы в течение времени t.

N	$\lambda \cdot 10^{-4}$ час ⁻¹	T1 час.	S1 час.	m 10 ⁻⁵ час ⁻¹	α	t час
3	1	7200	2000	0,1	1,5	100

Вариант 2

1. Проведено испытание 1000 однотипных изделий. Число отказавших изделий фиксировалось через каждые 1000 час работы:

Временной интервал (час).	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий
0-100	50	1000-1100	15	2000-2100	12
100-200	40	1100-1200	14	2100-2200	13
200-300	32	1200-1300	14	2200-2300	12
300-400	25	1300-1400	13	2300-2400	13
400-500	20	1400-1500	14	2400-2500	14
500-600	17	1500-1600	13	2500-2600	16
600-700	16	1600-1700	13	2600-2700	20
700-800	16	1700-1800	13	2700-2800	25
800-900	15	1800-1900	14	2800-2900	30
900-1000	14	1900-2000	12	2900-3000-	40

Определить: ВБР, частоту и интенсивность отказов, среднюю наработку до первого отказа. Построить графики характеристик

2. Стержневая система нагружена квазистатическими сосредоточенными силами $Q_1(t)$ и $Q_2(t)$, описываемыми случайным процессом. Нормальная эксплуатация стержневой системы возможна при отсутствии пластических деформаций. Необходимо дать полную постановку задачи теории надёжности.

3. Вероятность безотказной работы автоматической линии в течение 120 час равна 0,9. В предположении о справедливости экспоненциального закона рассчитать интенсивность отказов и частоту отказов для $t = 120$ час, а также среднюю наработку до первого отказа.

4. Нарботка изделия до отказа распределена по закону Вейбулла с параметрами $a = 104$ час, $b = 0,3$. Найти наработку до отказа соответствующую $P = 0,9$.

5. В результате анализа данных об отказах изделий установлено, что ВБР определяется формулой $P(t) = 3e^{-kt} - 3ke^{-2kt} + e^{-3kt}$. Требуется найти характеристики $f(t)$, $\lambda(t)$, $T_{ср}$.

6. Рассчитать на прочность элемент конструкции (стержень круглого сечения), на который действует крутящий момент, являющийся с.в. Расчетное сопротивление сдвигу R также является с.в. С.в. M и R описываются нормальным законом распределения с параметрами соответственно $N(29 \text{ кНм}, (1,5 \text{ кНм})^2)$, $N(60 \text{ МПа}, (3 \text{ МПа})^2)$. Требуемая ВБР элемента равна $P^* = 0,999$. Определить радиус стержня.

8. Система состоит из N групп элементов. Отказы элементов первой группы подчинены экспоненциальному закону с интенсивностью отказов λ , отказы элементов второй группы – нормальному закону с параметрами T , S , отказы элементов третьей группы – закону Вейбулла с параметрами m , α . Требуется определить ВБР системы в течение времени t .

N	$\lambda \cdot 10^{-4}$ час ⁻¹	T_1 час.	S_1 час.	m 0,5 час ⁻¹	α	t час
2	-	6000	4000	0,3	1,5	1000

Вариант 3

1. Проведено испытание 45 изделий и получены данные до первого отказа всех изделий:

Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий	Временной интервал (час.)	Число отказавших изделий
0-10	19	30-40	3	60-70	1

10-20	13	40-50	0		
20-30	8	50-60	1		

Определить: ВБР, частоту и интенсивность отказов, среднюю наработку до первого отказа. Построить графики характеристик.

2. Элемент конструкции – круглая пластина радиусом R , нагружена в центре сосредоточенной силой P , величина которой случайна, концы пластины защемлены по всему контуру. Нормальная эксплуатация пластин возможна при выполнении требований по жёсткости. Необходимо дать полную постановку задачи теории надёжности.

3. Интенсивность отказов изделия равна $\lambda = 10^{-6} \text{ час}^{-1}$. Найти: ВБР для $t = 10^4$ час, 2 10^4 час, ВБР в интервале $[10^4, 2 \cdot 10^4]$ час.

4. Нарботка изделия до отказа распределена по закону Вейбулла с параметрами $a = 10^4$ час, $b = 0,4$. Найти значение величины интенсивности отказов для $t = 300$ час.

5. Плотность распределения времени до отказа описывается формулой $f(t) = 6ke^{-2kt}(1 - e^{-kt})$. Найти среднюю наработку до первого отказа, ВБР.

6. Рассчитать на жёсткость элемент конструкций (стержень круглого сечения), на который действует крутящий момент M , являющийся с.в. Допускаемый относительный угол закручивания φ является с.в. С.в. M и φ описываются нормальным законом распределения с параметрами соответственно $N(40 \text{ кН м}, (3 \text{ кН м})^2)$, $N(60 \text{ град/м}, (0,01 \text{ град/м})^2)$. Требуемая ВБР элемента равна $P^* = 0,9999$. Определить радиус стержня.

8. Система состоит из N групп элементов. Отказы элементов первой группы подчинены экспоненциальному закону с интенсивностью отказов λ , отказы элементов второй группы – нормальному закону с параметрами T, S , отказы элементов третьей группы – закону Вейбулла с параметрами m, α . Требуется определить ВБР системы в течение времени t .

N	$\lambda \cdot 10^{-4}$	T_1	S_1	$m \cdot 10^{-1}$	α	t
-----	-------------------------	-------	-------	-------------------	----------	-----

	час ⁻¹	час	час	5		час
				час ⁻¹		
2	3,2	-	-	0,2	1,3	500

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными недочетами, выполнены все задания в	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						полном объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-11

1. Математическая формулировка задачи надежности
2. Модель «нагрузка-прочность».
3. Экспоненциальная модель внезапного отказа
4. Модель, в которой внешнее воздействие задается потоком независимых дискретных воздействий

5. Модель вероятности безотказной работы изделия в случае линейного закона накопления повреждений
6. Асимптотические подходы к оценки ВБР
7. Определение вероятности безотказной работы системы при последовательном соединении.
8. Модель «гибели»
9. Определение вероятности безотказной работы системы при параллельном соединении.
10. Применение метода Байеса для оценки вероятности безотказной работы системы

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-12

1. Математическая формулировка задачи надежности
2. Модель «нагрузка-прочность».
3. Экспоненциальная модель внезапного отказа
4. Модель, в которой внешнее воздействие задается потоком независимых дискретных воздействий
5. Модель вероятности безотказной работы изделия в случае линейного закона накопления повреждений
6. Асимптотические подходы к оценки ВБР
7. Определение вероятности безотказной работы системы при последовательном соединении.
8. Модель «гибели»
9. Определение вероятности безотказной работы системы при параллельном соединении.
10. Применение метода Байеса для оценки вероятности безотказной работы системы

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Грудзинская Е. Ю. Разработка темы «Надежность систем» в активных методах : электронное методическое пособие / Грудзинская Е. Ю., Любимов А. К. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И.

Лобачевского, 2011. - 34 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=729897&idb=0>.

2. Любимов А. К. Введение в теорию надёжности: проектноориентированный подход : учебно-методическое пособие / Любимов А. К. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2014. - 176 с. - Рекомендовано методической комиссией механико-математического факультета, центром инновационных образовательных технологий (Центр «Тюнинг») ИЭП для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 010800 «Механика и математическое моделирование», 010400 «Прикладная математика и информатика». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730323&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Проников Александр Сергеевич. Надежность машин. - М. : Машиностроение, 1978. - 591 с. : ил. - (Надежность и качество). - 2.50., 1 экз.
2. Любимов Александр Константинович. Введение в теорию надежности : учеб. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 010800 "Механика и мат. моделирование", 010400 "Прикладная математика и информатика". - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2012. - 99 с. - 132.35., 2 экз.
3. Гнеденко Борис Владимирович. Математические методы в теории надежности : основ. характеристики надежности и их стат. анализ / Физико-математическая библиотека инженера. - М. : Наука, 1965. - 524 с. : с черт. - 1.79., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<http://www.lib.unn.ru/>,

Университетская библиотека ONLINE <http://www.biblioclub.ru>

Библиотека "Лань" <http://e.lanbook.com/> ,

Ресурс открытого доступа Электронная физико-математическая библиотека EqWorld , <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/algebra.htm>).

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.05.01 - Фундаментальные математика и механика.

Автор(ы): Любимов Александр Константинович, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.