

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.



Программа аспирантуры

Направление 01.06.01 Математика и механика

Направленность (специальность) 01.02.06 Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Теория надежности и безопасности конструкций»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.3.1

Всего: 72 часа

Семестр 5, в том числе

6 часов - контактная работа,  
48 часов - самостоятельная работа,  
18 часов - контроль.

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика», утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 866, и паспорта специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

### **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью дисциплины является** изучение методов теории вероятностей и теории надежности и безопасности для расчета машин и конструкций, находящихся под воздействием случайных природных и эксплуатационных нагрузок.

**Задачами дисциплины являются**

- проведение теоретических и расчетно-экспериментальных работ с элементами научных исследований для решения задач прикладной механики – задач динамики, прочности, устойчивости, рациональной оптимизации, долговечности, ресурса, живучести, надежности и безопасности машин, конструкций, сооружений, установок, агрегатов, оборудования, приборов и аппаратуры и их элементов;
- освоение информационных технологий, современных систем компьютерной математики, наукоемких компьютерных технологий;
- приобретение навыков составления расчетных схем и математических моделей для расчета объектов современной техники на случайные воздействия с оценкой показателей надежности и безопасности.

В процессе освоения дисциплины формируются следующие **компетенции:**

- Способность выявлять сущность научно-технических проблем динамики, прочности, надежности и безопасности машин,

- устройств и конструкций и привлекать, модернизировать и разрабатывать для их решения теоретические и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования (ПК-1);
- Способность критически анализировать существующие концепции и подходы к решению проблем динамики, прочности, надежности и безопасности машин, устройств и конструкций с учетом современных потребностей промышленности, достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, формулировать на этой основе задачи и разрабатывать программы исследований, выбирать, модернизировать и разрабатывать адекватные теоретические и экспериментальные методы решения (ПК-2);
  - Способность самостоятельно осваивать и применять современные математические концепции и вычислительные методы, системы компьютерной математики, компьютерного проектирования и инжиниринга для эффективного решения проблем динамики, прочности, надежности и безопасности машин, устройств и конструкций (ПК-3);
  - Готовность самостоятельно планировать и осуществлять прикладную научно-техническую деятельность в области динамики, прочности, надежности и безопасности машин, устройств и конструкций в интересах удовлетворения потребностей различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства (ПК-4).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

### **Знать:**

- основные понятия, термины и определения теории надежности технических систем (ПК-1);
- методы теории надежности сложных систем (ПК-3);
- методы теории надежности механических систем (ПК-3).

### **Уметь:**

- самостоятельно разбираться в методиках расчета на случайные воздействия и применять их для решения поставленной задачи (ПК-4);

- выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-1);
- использовать фундаментальные законы природы, законы естественнонаучных дисциплин и механики в процессе профессиональной деятельности (ПК-2);
- применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности (ПК-3);
- аппроксимировать реальные внешние природные и эксплуатационные нагрузки подходящими случайными величинами и процессами (ПК-4);
- составлять расчетные схемы и математические модели для расчета машин и конструкций на случайные воздействия (ПК-4);
- составлять описания выполненных расчетно-экспериментальных работ и разрабатываемых проектов, обрабатывать и анализировать полученные результаты, готовить данные для составления отчетов и презентаций, написания докладов, статей и другой научно-технической документации (ПК-4).

**Владеть:**

- культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения (ПК-2);
- методами математической статистики для обработки экспериментальных данных (ПК-3);
- основными знаниями и методами защиты производственного персонала населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий (ПК-4);
- навыками работы с современными системами компьютерного инжиниринга в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, широко распространенных систем мирового уровня: ANSYS, COSMOS, MATLAB и др. (ПК-3);
- программными средствами компьютерной графики и визуализации результатов научно-исследовательской деятельности, оформлять отчеты и презентации, готовить рефераты, доклады и статьи с помощью современных офисных информационных технологий, текстовых и графических редакторов, средств печати (ПК-4).

# **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

## **Основные понятия теории надежности**

Составные элементы надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость. Понятие отказа. Классификация отказов. Основные показатели безотказности. Показатели долговечности: ресурс, срок службы, наработка до отказа, время безотказной работы, гамма-процентный ресурс, математическое ожидание и дисперсия ресурса. Экспоненциальный закон надежности, другие аппроксимации. Надежность восстанавливаемого элемента. Поток восстановлений. Функция распределения долговечности. Математическое ожидание числа восстановлений, плотность восстановления. Пример: экспоненциальный закон надежности.

## **Надежность сложных систем**

Последовательное и параллельное соединения элементов, смешанные соединения. Вычисление показателей надежности в общем случае. Резервирование. Типы резервирования. Резервирование элемента без восстановления. Нагруженный, облегченный и ненагруженный резервы. Резервирование с восстановлением. Схема размножения и гибели в теории надежности. Стационарное решение в схеме размножения и гибели. Примеры. Применение схемы гибели к резервированию без восстановления. Понятие о деревьях отказов и деревьях событий. Примеры. Понятие об оптимальном резервировании.

## **Испытания на надежность**

Оценка показателей надежности по результатам испытаний. Типы и планы (стратегии) испытаний. Примеры. Статистические оценки показателей безотказности и долговечности. Проверка гипотез о законе распределения. Оценка параметра экспоненциального закона надежности.

## **Надежность механических систем**

Основные пространства в теории надежности механических систем. Допустимая область в пространстве качества. Отказ как выброс вектора качества из допустимой области. Вероятность безотказной работы. Математическое ожидание числа выбросов в единицу времени случайного процесса за фиксированный уровень. Выбросы стационарного гауссовского процесса за фиксированный уровень. Выбросы случайного процесса за переменный и случайный уровни. Выбросы многомерного процесса из допустимой области. Оценки для вероятности безотказной работы с использованием числовых характеристик выбросов. Оценка снизу. Пуассоновская модель отказов. Односторонние и двухсторонние оценки для вероятности безотказной работы. Метод условных показателей надежности.

## **Прикладные задачи теории надежности**

Распределение экстремумов случайного процесса. Среднее число экстремумов. Общее число экстремумов. Плотность вероятности максимумов (минимумов) случайного процесса. Случай узкополосного стационарного процесса. Статистическая теория хрупкого разрушения. Модель идеально хрупкого тела. Стохастическое определение предела прочности. Функция распределения предела прочности хрупкого тела при однородном напряженном состоянии. Асимптотическое распределение предела прочности. Распределение Вейбулла. Обобщение статистической теории хрупкого разрушения на случай неоднородного напряженного состояния. Масштабный эффект при хрупком разрушении. Изменчивость предела прочности. Определение параметров распределения Вейбулла по результатам испытаний. Статистическая теория усталостного разрушения. Понятие о вероятностной поверхности усталости. Функция распределения предела выносливости. Накопление усталостных повреждений при случайных нагрузках. Мера повреждения. Линейное правило суммирования повреждений. Характеристическая долговечность при узкополосном стационарном гауссовском процессе нагружения.

## **Обоснование нормативных расчетов на надежность**

Применение методов теории надежности к обоснованию нормативных расчетов. Статистическое истолкование коэффициента запаса. Расчетные нагрузки и сопротивления. Коэффициенты перегрузки и однородности. Учет фактора времени при определении расчетных нагрузок.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: семестр – дифференцированный зачет.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте определение понятия «надежность».
2. Перечислите составные элементы надежности.
3. Дайте определение понятий «безопасность» и «живучесть».
4. Приведите классификацию отказов.
5. Перечислите показатели безотказности и долговечности.
6. Что такое ресурс?
7. Перечислите основные законы надежности.
8. Что такое восстановление?
9. Дайте определения последовательного и параллельного соединений элементов.
10. Как строятся деревья отказов и деревья событий?
11. Какие типы резервирования вы знаете?
12. В чем состоит схема размножения и гибели и как она связана с понятиями теории надежности?
13. Перечислите основные виды испытаний на надежность.
14. Как строятся стратегии испытаний на надежность?
15. Перечислите основные пространства теории надежности.
16. Как связаны показатели безотказности с числовыми характеристиками выбросов случайных процессов?
17. Дайте определение линейной модели суммирования повреждений.
18. Дайте стохастическое определение предела прочности материала.

19. В чем состоит масштабный эффект при хрупком разрушении?
20. Что такое вероятностная поверхность усталости?
21. Как определяются расчетные нагрузки и расчетные сопротивления?
22. Что такое индекс надежности?

### **Перечень вопросов, включенных в билеты для проведения зачета**

1. Основные понятия теории надежности. Составные элементы надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость.
2. Понятие отказа. Классификация отказов.
3. Основные показатели безотказности.
4. Показатели долговечности: ресурс, срок службы, наработка до отказа, время безотказной работы, гамма-процентный ресурс, математическое ожидание и дисперсия ресурса.
5. Экспоненциальный закон надежности, другие аппроксимации.
6. Надежность восстанавливаемого элемента. Поток восстановлений. Функция распределения долговечности. Математическое ожидание числа восстановлений, плотность восстановления. Пример: экспоненциальный закон надежности.
7. Надежность сложных систем. Последовательное и параллельное соединения элементов, смешанные соединения. Вычисление показателей надежности в общем случае.
8. Резервирование. Типы резервирования.
9. Резервирование элемента без восстановления. Нагруженный, облегченный и ненагруженный резервы.
10. Резервирование с восстановлением. Схема размножения и гибели в теории надежности.
11. Стационарное решение в схеме размножения и гибели. Примеры.
12. Применение схемы гибели к резервированию без восстановления.
13. Понятие о деревьях отказов и деревьях событий. Примеры.
14. Понятие об оптимальном резервировании.
15. Оценка показателей надежности по результатам испытаний. Типы и планы (стратегии) испытаний. Примеры.

16. Статистические оценки показателей безотказности и долговечности.
17. Проверка гипотезы о законе распределения.
18. Оценка параметра экспоненциального закона надежности.
19. Основные пространства в теории надежности механических систем. Допустимая область в пространстве качества. Отказ как выброс вектора качества из допустимой области. Вероятность безотказной работы.
20. Математическое ожидание числа выбросов в единицу времени случайного процесса за фиксированный уровень.
21. Выбросы стационарного гауссовского процесса за фиксированный уровень.
22. Выбросы случайного процесса за переменный и случайный уровни.
23. Выбросы многомерного процесса из допустимой области.
24. Оценки для вероятности безотказной работы с использованием числовых характеристик выбросов. Оценка снизу. Пуассоновская модель отказов.
25. Односторонние и двухсторонние оценки для вероятности безотказной работы.
26. Метод условных показателей надежности.
27. Распределение экстремумов случайного процесса. Среднее число экстремумов. Общее число экстремумов.
28. Плотность вероятности максимумов (минимумов) случайного процесса. Случай узкополосного стационарного процесса.
29. Накопление усталостных повреждений при случайных нагрузках. Мера повреждения. Линейное правило суммирования повреждений.
30. Характеристическая долговечность при узкополосном стационарном гауссовском процессе нагружения.
31. Статистическая теория хрупкого разрушения. Модель идеально хрупкого тела. Стохастическое определение предела прочности.
32. Функция распределения предела прочности хрупкого тела при однородном напряженном состоянии.
33. Асимптотическое распределение предела прочности. Распределение Вейбулла.

34. Обобщение статистической теории хрупкого разрушения на случай неоднородного напряженного состояния.
35. Масштабный эффект при хрупком разрушении. Изменчивость предела прочности.
36. Определение параметров распределения Вейбулла по результатам испытаний.
37. Вероятностные аспекты усталостного разрушения. Понятие о вероятностной поверхности усталости. Функция распределения предела выносливости.
38. Применение методов теории надежности к обоснованию нормативных расчетов. Статистическое истолкование коэффициента запаса.
39. Расчетные нагрузки и сопротивления. Коэффициенты перегрузки и однородности.
40. Учет фактора времени при определении расчетных нагрузок.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

## **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

### **Основная литература:**

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Учебник для вузов. М.: КноРус, 2010 . 664 с. - ISBN 978-5-406-00476-0 (доступно 43 экз.).
2. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей. Учебник для математических специальностей университетов. 10-е изд., доп . М. : Эдиториал УРСС, 2011 . 488 с. (Классический университетский учебник) . - ISBN 978-5-397-01474-8 (доступно 29 экз.).
3. Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П. Колебания линейных систем. Учебное пособие. М.: Издательский дом «Спектр», 2014. 432 с. - ISBN: 978-5-4442-0041-4 (доступно 240 экз.).

**Дополнительная литература:**

4. Мишенков Г.В., Позняк Е.В., Хроматов В.Е. Прикладные задачи виброударозащиты аппаратов машин и оборудования. Учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 152 с. - ISBN 5-903072-14-3 (доступно 117 экз.).