

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

«Конструкционная прочность и механика разрушения»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.4.1

Всего: 108 часов

Семестр 7, в том числе	6 часов – контактная работа,
	84 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 освоения дисциплины является изучение основных положений, моделей и методов конструкционной прочности и механики разрушения, необходимых для выполнения диссертационной работы.

Задачами дисциплины являются

- расчеты и проектирование новой техники, в том числе, предназначенной для работы в экстремальных условиях;
- экспериментальные исследования создаваемых образцов новой техники, приборов, машин, конструкций и новых материалов;
- создание и развитие аналитических и численных методов расчета новой техники, приборов, машин и конструкций;
- исследование надежности, ресурса и безопасности машин, конструкций и приборов;
- разработка математических моделей расчета конструкций из композиционных и перспективных материалов, находящихся в экстремальных условиях эксплуатации

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:

- модели и уравнения состояния конструкционных систем, описывающих их поведение в реальных условиях эксплуатации (ПК-1);
- математическую постановку задач механики конструкций с учетом физической и геометрической нелинейностей (ПК-1, ПК-3);
- методы оценки остаточного ресурса конструкций с технологическими и эксплуатационными дефектами (ПК-4);

уметь

- определять параметры НДС элементов конструкций, содержащих дефекты и находящихся в реальных условиях эксплуатации (ПК-4);

владеть:

- методикой прикладных расчетов, отраженных в нормативных документах (ПК-4);
- навыками создания компьютерных моделей элементов конструкций с учетом реальных условий эксплуатации (ПК-2, ПК-3);
- опытом численного решения прикладных задач конструкционной прочности методом конечных элементов в специализированных программных комплексах (ПК-3).

Краткое содержание разделов дисциплины

Конструкционная прочность и факторы ее определяющие. Критерии предельных состояний элементов конструкции в зависимости условий работы» механических свойств материалов, режимов нагружения и тепловых, условий. Меры повышения конструкционной прочности. Характеристика основных конструкционных материалов.

Коэффициент запаса по предельной нагрузке. Запас прочности по напряжениям. Запас по ресурсу. Выбор коэффициентов запаса допускаешь напряжений. Техничко-экономические факторы, определяющие выбор коэффициентов запаса. Вероятностная оценка прочности и ресурса элементов конструкций.

Возникновение и развитие усталостных повреждений. Экспериментальное определение характеристик сопротивлений усталости. Факторы, влияющие на сопротивление усталости деталей машин. Понятие о коррозионной и адсорбционной усталости металлов. Технологические методы для повышения предела выносливости деталей машин.

Планирование испытаний для построения кривых усталости. Статистическая обработка результатов усталостных испытаний на основе линейного регрессионного анализа.

Расчет на прочность при установившихся режимах переменных напряжений. Определение запасов прочности при сложном напряженном состоянии. Расчеты на усталость при амплитудах напряжений, меняющихся во времени.

Усталостное разрушение Деталей машин при повышенных температурах. Вероятностные методы расчета на усталость деталей машин.

Сопротивление циклическому пластическому деформированию. Напряженно-деформированное состояние при циклическом упругопластическом деформировании. Малоцикловое квазистатическое разрушение.

Усталостное разрушение. Циклически упрочняющиеся, разупрочняющиеся и стабилизирующиеся материалы. Уравнения обобщенной диаграммы циклического деформирования. Кривые усталости при жёстком и мягком нагружении.

Критерии малоциклового несущей способности деталей машин и элементов конструкций. Запас по предельным нагрузкам и по числу циклов. Анализ несущей способности на стадии роста трещин. Влияние температуры на малоцикловое сопротивление. Выбор материалов для конструкций работающих при малоцикловом нагружении.

Малоцикловое разрушение в зонах концентрации напряжений. Расчет элементов конструкций по критерию приспособляемости.

Дефекты в конструкционных материалах и элементах конструкций. Микро-, мини- и макродефекты. Варианты процессов разрушения. Статистический аспект разрушения. Структурный аспект разрушения. Обзор методов оценки напряженно-деформированного состояния тел с трещинами.

Характеристики трещиностойкости конструкционных материалов. Критерии сопротивления распространению трещин при циклическом нагружении. Обзор методов оценки напряженно-деформированного состояния тел с трещинами. Характеристика трещиностойкости конструкционных материалов.

Влияние дефектности на упругие свойства конструкционных материалов. Температурные зависимости характеристик сопротивления хрупкому разрушению и метода их определения. Критические температуры хрупкости конструкционных материалов. Влияние конструктивных и технологических факторов на критические температуры. Запас по критическим температурам хрупкости.

Комплексная диагностики технического состояния и оценка остаточного ресурса трубопроводов.

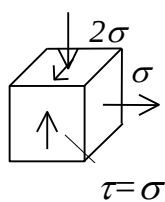
Расчетная методика диагностики технического состояния и оценки остаточного ресурса трубопроводов.

Систематизации и регуляризации предыстории нагружения. Расчет нагрузок и воздействий для стандартных и нестандартных условий работы трубопроводов.

Требования к составу и наполнению информационной базы в электронном виде по проектной, исполнительной документации, характеристикам металла и данным диагностики для реализации расчетных оценок остаточного ресурса.

Алгоритмы схематизации дефектов в магистральных трубопроводах. Расчет коэффициентов интенсивности напряжений эквивалентных дефектов.

Критерии прочности, трещиностойкости и долговечности трубопроводов



Программный комплекс по диагностике технического состояния и оценке остаточного ресурса трубопроводов.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 6 семестр
– дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Определите величину параметра σ , при которой начнутся пластические деформации в материале

2. Какие основные этапы включает процесс разрушения материала? Как различаются вязкое и хрупкое разрушения

3. Для материала известны $\sigma_B = 235$ МПа, $\sigma_{BC} = 950$ МПа. Используя критерий разрушения О.Мора, определите предел прочности при сдвиге τ_B .

$T_\sigma = \begin{pmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & -2\sigma & \sigma \\ 0 & \sigma & 0 \end{pmatrix}$ 4. Напряженное состояние в точке тела определяется следующим тензором. Определите напряжение σ , при котором в материале начнутся пластические деформации

5. Как влияют на тип разрушения температура, скорость нагружения, вид напряженного состояния? Влияние напряженного состояния проиллюстрируйте диаграммой Давиденкова-Фридмана.

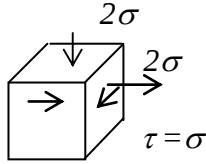
6. Напряженное состояние в точке определяется следующим тензором.

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} 2\sigma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma \\ 0 & \sigma & 0 \end{pmatrix}$$

Определите напряжение σ , при котором начнутся пластические деформации в материале

7. Почему при анализе условий разрушения в общем случае предпочтительнее использовать логарифмическую, а не обычную деформацию?

8. Для материала известны $\overline{\sigma}_F = 180$ МПа, $\tau_B = 220$ МПа. Определите напряжение разрушения при сжатии



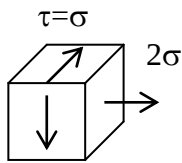
9. Определите величину σ , при которой в материале начнутся пластические деформации.

10. В чем состоят классические критерии разрушения согласно I (наибольших нормальных напряжений) и II (наибольших деформаций) теорий прочности? В каких современных критериях используются идеи этих старых теорий, ныне уже не применяемых на практике?

11. Напряженное состояние в точке определяется следующим тензором. Определите напряжение σ , при котором в материале начнутся пластические деформации.

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} -2\sigma & 0 & \sigma \\ 0 & 0 & 0 \\ \sigma & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

12. Каким условием необходимо дополнить критерий разрушения О.Мора? Определите предел прочности при сдвиге, исходя из критерия Мора



13. Определите значение σ , при котором в материале начнутся пластические деформации.

14. В чем состоит критерий разрушения, предложенный А.А.Лебедевым и Г.С.Писаренко? Какие идеи нашли в нем отражение?

15. Какие напряжения называют местными? В чем состоят их особенности? Как они влияют на прочность деталей, какие факторы могут усилить (или, наоборот, ослабить) их влияние?

16. Что называют теоретическим коэффициентом концентрации напряжений (ТКК)? К каким условиям деформирования относится этот коэффициент? Можно ли использовать принцип суперпозиции при определении ТКК?

17. В чем состоит подход Нейбера при определении теоретического коэффициента концентрации напряжений в выточках (основные допущения, область корректного применения?)

18. Сопоставьте влияние на прочность надреза в плоском и цилиндрическом образцах при условии, что геометрические параметры продольных сечений образцов совпадают. В чем причины того, что влияние концентрации на прочность в одном из указанных случаев может оказаться больше, чем в другом?

19. Имеет ли теоретический коэффициент концентрации напряжений предельное значение, которое он (для конкретного материала) не может превосходить? В чем состоит в данном случае гипотеза Нейбера?

20. Как можно приближенно определить коэффициенты концентрации деформаций и напряжений за пределами упругости при условии, что номинальное напряжение в конструкции не превышает предела пропорциональности? Какой исходной информацией нужно для этого располагать?

21. Охарактеризуйте явление усталости. В чем отличие регулярного и стационарного нагружений? Как классифицируется усталость по признаку циклической долговечности? Каким параметром определяется вид усталости по этому признаку? Каков характер разрушения образца в каждой из областей?

22. Приведите основные параметры цикла нагружения. Какие характеристики обозначаются символами σ_R , τ_R ; что они означают? Каков смысл индекса «R»?

3. Охарактеризуйте поведение материала при «жестком» циклическом нагружении. Приведите классификацию материалов по признаку упрочнения. С каким эффектом связано циклическое упрочнение материала?

23. Какие соотношения используются для описания кривой усталости в различных областях долговечности? Назовите несколько критериев малоциклового прочностного поведения; чем они отличаются друг от друга? Почему критерий Мэнсона-Лэнджера называют также уравнением «универсальных наклонов»? Как в соответствии с предложением Мэнсона определяются значения констант кривой малоциклового усталости по характеристикам статической прочности?

24. Какие свойства материала описываются уравнениями Мэнсона-Коффина и Морроу? В каких условиях применяется каждое? Каким образом с помощью этих уравнений получают зависимость (как она называется?), отражающую деформационные свойства?

25. Охарактеризуйте влияние различных факторов на прочность сталей и сплавов при циклическом

26. Проанализируйте влияние концентрации напряжений на прочность элементов конструкций при циклическом нагружении и способы математического описания этого явления

27. Назовите различного рода факторы, влияющие на прочность конструкционных материалов при циклическом нагружении. Охарактеризуйте более подробно влияние масштабного фактора.

28. Назовите различного рода факторы, влияющие на прочность конструкционных материалов при циклическом нагружении. Охарактеризуйте более подробно влияние качества поверхности и технологии обработки детали

30. Назовите различного рода факторы, влияющие на прочность конструкционных материалов при циклическом нагружении. Охарактеризуйте более подробно влияние коррозии.

31. Каким образом производится оценка усталостной прочности материалов при сложном напряженном состоянии? Какую характеристику называют приведенной эквивалентной амплитудой?

32. Какое нагружение называют блочным? Какие эффекты, связанные с усталостной прочностью, проявляются в этих условиях? Каким образом при этом оценивают долговечность конструкции

33. Какие виды коэффициента запаса используют при оценке усталостной прочности конструкций? Как определяется каждый из них (в том числе, при сложном напряженном состоянии)? По возможности приведите необходимую схему. Существует ли взаимосвязь между ними? Чем определяются величины нормативных коэффициентов запаса? Приведите типичные их значения

34. Что называется ползучестью? Какими параметрами определяется ее интенсивность? Какие механизмы ползучести вы знаете? Коротко охарактеризуйте каждый из них.

35. Назовите и охарактеризуйте известные механизмы ползучести сталей и сплавов. Какие из них наиболее актуальны с точки зрения практики? Расскажите о них более подробно.

36. Назовите основные характеристики (функциональные зависимости и константы) длительной прочности. Дайте понятие предела длительной прочности. Изложите процедуру определения предела длительной прочности при сжатии.

37. Что представляет собой кинетическое уравнение накопления повреждений? Каким образом осуществляется суммирование повреждений в условиях переменного нагружения?

38. Каким образом определяется ресурс пластичности (деформация в момент разрушения) в условиях длительного нагружения? С какой целью применяют критерии длительной прочности? Назовите и охарактеризуйте наиболее известные.

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

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. Болотин В. В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В. В. Болотин. - М., 1984. - 446, с. (доступно 31 экз.).
2. [Н. С. Бахвалов](#) [Н. П. Жидков](#), [Г. М. Кобельков](#). Численные методы : учебное пособие для физико-математических специальностей вузов. – 4-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 636 с. – (Классический университетский учебник) . - 250-лет МГУ им. М.В. Ломоносова . - ISBN 5-947743-96-5 (доступно 100 экз.).

Дополнительная литература:

3. Мурзаханов Г.Х., Щугорев В.Н. Методы оценки конструкционной прочности трубопроводов. Учебное пособие. М.: издательство МЭИ, 2009, 92 с. (доступно 57 экз.).
4. Мурзаханов Г.Х. Расчеты на усталость. М.: издательство МЭИ, 1994, 102 с. (доступно 80 экз.).