

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Усталость и живучесть конструкций
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра прочности летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.
семинары: 60 час.
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: Г.И. Нестеренко, д-р техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры прочности летательных аппаратов 04.06.2020

Аннотация

Дисциплина "Усталость и живучесть конструкций" направлена на знакомство студентов с основами ресурса конструкций летательных аппаратов, включая расчетные и экспериментальные методы обеспечения усталости и живучести.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- знакомство студентов с основами ресурса конструкций летательных аппаратов, включая расчетные и экспериментальные методы обеспечения усталости и живучести.

Задачи дисциплины

- формирование у студентов базовых знаний в области обеспечения безопасности проектируемых летательных аппаратов по условиям прочности.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ использование методов проектирования элементов летательных аппаратов;
- ☐ обучающиеся должны уметь использовать методы проектирования элементов ЛА в соответствии с требованиями их (ЛА) в процессе проектирования и эксплуатации.

уметь:

- ☐ пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить численные оценки по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ видеть в технических задачах физическое содержание;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Краткий обзор развития исследований усталости и трещиностойкости		3		1
2	Принципы безопасного разрушения и допустимого повреждения самолетных конструкций.		3		1
3	Усталость при нестационарном периодическом нагружении.		3		1
4	Типизированные программы квазислучайного нагружения. Рассеяние характеристик усталости.		3		1
5	Линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений.		3		1
6	Влияние температуры на усталостную долговечность.		3		2
7	Влияние конструктивных факторов на усталостную долговечность соединений.		3		2
8	Статистические характеристики усталостной долговечности соединений.		3		2
9	Усталость продольных стыков крыла и фюзеляжа.		3		2
10	Сертификационные испытания крупногабаритных панелей и полномасштабных конструкций на усталость.		3		2
11	Поле напряжений при вершине трещины.		2		2
12	Критерий Гриффитса. Концепция R-кривых J-интеграл.		2		2
13	Метод конечных элементов определения коэффициентов интенсивности напряжений.		2		2
14	Вязкость разрушения при плоской деформации.		2		2
15	Скорость роста трещин при циклических нагрузках.		2		2
16	Формулы Пэриса, Формана и др. для расчета скорости роста трещин при регулярных нагрузках.		2		2
17	Модель Уилленборга. Модель Элбера.		3		3
18	Основные характеристики живучести конструкций.		3		3
19	Остаточная прочность подкрепленных конструкций с трещиной в обшивке.		3		3
20	Остаточная прочность конструкций с поверхностными и угловыми трещинами.		3		3
21	Конструктивные методы обеспечения живучести.		3		3

22	Рассеяние скорости роста трещин и остаточной прочности.		3		3
Итого часов			60		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Краткий обзор развития исследований усталости и трещиностойкости

Краткий обзор развития исследований усталости и трещиностойкости в машиностроении и самолетостроении. Безопасный ресурс авиационных конструкций.

2. Принципы безопасного разрушения и допустимого повреждения самолетных конструкций.

Принципы безопасного разрушения и допустимого повреждения самолетных конструкций. Усталостный процесс. Характеристики сопротивления усталости. Концентрация напряжений. Кривые усталости.

3. Усталость при нестационарном периодическом нагружении.

Усталостный процесс. Характеристики сопротивления усталости. Концентрация напряжений. Кривые усталости. Усталостная долговечность при квазислучайном нагружении.

4. Типизированные программы квазислучайного нагружения. Рассеяние характеристик усталости.

Типизированные программы квазислучайного нагружения. Рассеяние характеристик усталости. Методы расчета усталостной долговечности.

5. Линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений.

Линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений. Метод полных циклов. Эквивалентные напряжения. Деформационная теория усталости.

6. Влияние температуры на усталостную долговечность.

Влияние температуры на усталостную долговечность. Влияние технологических факторов на усталостную долговечность.

7. Влияние конструктивных факторов на усталостную долговечность соединений.

Влияние конструктивных факторов на усталостную долговечность соединений. Влияние эксплуатационных факторов на усталостную долговечность.

8. Статистические характеристики усталостной долговечности соединений.

Описание статистических характеристик усталостной долговечности соединений.

9. Усталость продольных стыков крыла и фюзеляжа.

Усталость продольных стыков крыла и фюзеляжа. Методики испытаний образцов материалов на усталость. Требования к характеристикам усталости конструкционных материалов.

10. Сертификационные испытания крупногабаритных панелей и полномасштабных конструкций на усталость.

Описание испытаний крупногабаритных панелей и полномасштабных конструкций на усталость.

Семестр: 2 (Весенний)

11. Поле напряжений при вершине трещины.

Поле напряжений при вершине трещины. Коэффициент интенсивности напряжений. Пластическая зона при вершине трещины.

12. Критерий Гриффитса. Концепция R-кривых J-интеграл.

Критерий Гриффитса. Концепция R-кривых J-интеграл. Аналитические методы определения коэффициентов интенсивности напряжений.

13. Метод конечных элементов определения коэффициентов интенсивности напряжений.

Метод конечных элементов определения коэффициентов интенсивности напряжений. Экспериментальные методы определения коэффициентов интенсивности напряжений.

14. Вязкость разрушения при плоской деформации.

Вязкость разрушения при плоской деформации. Разрушение при плоском напряженном состоянии.

15. Скорость роста трещин при циклических нагрузках.

Скорость роста трещин при циклических нагрузках. Кинетические диаграммы скорости роста трещин.

16. Формулы Пэриса, Формана и др. для расчета скорости роста трещин при регулярных нагрузках.

Формулы Пэриса, Формана и др. для расчета скорости роста трещин при регулярных нагрузках. Модель Уилера для расчета скорости роста трещин при нерегулярных нагрузках.

17. Модель Уилленборга. Модель Элбера.

Модель Уилленборга. Модель Элбера. Влияние металлургических факторов на трещиностойкость материалов.

18. Основные характеристики живучести конструкций.

Основные характеристики живучести конструкций. Периодичность осмотров конструкций. Контролепригодность конструкций. Регламентированные повреждения.

19. Остаточная прочность подкрепленных конструкций с трещиной в обшивке.

Остаточная прочность подкрепленных конструкций с трещиной в обшивке. Остаточная прочность герметических фюзеляжей.

20. Остаточная прочность конструкций с поверхностными и угловыми трещинами.

Остаточная прочность конструкций с поверхностными и угловыми трещинами. Критерии остаточной прочности конструкций с многоочаговыми трещинами. Рассеяние скорости роста трещин и остаточной прочности.

21. Конструктивные методы обеспечения живучести.

Конструктивные методы обеспечения живучести. Конструктивные методы обеспечения живучести. Конструктивные методы обеспечения живучести.

22. Рассеяние скорости роста трещин и остаточной прочности.

Рассеяние скорости роста трещин и остаточной прочности. Сертификационные испытания на живучесть натуральных конструкций.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

компьютер и мультимедийное оборудование (проектор).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Усталость металлов [Текст], [монография]/В. Ф. Терентьев, С. А. Кораблева, -М., Наука, 2015

Дополнительная литература

1. Расчет на прочность летательных аппаратов [Текст] : учебное пособие / А. С. Авдонин, В. И. Фигуровский .— М. : Машиностроение, 1985 .— 439 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций и примеров.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину "Усталость и живучесть конструкций", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;

– подготовку к зачету и экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра прочности летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
1 (осенний) - Зачет	
2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	Г.И. Нестеренко, д-р техн. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Усталость и живучесть конструкций» обучающийся должен:

знать:

- ☐ использование методов проектирования элементов летательных аппаратов;
- ☐ обучающиеся должны уметь использовать методы проектирования элементов ЛА в соответствии с требованиями их (ЛА) в процессе проектирования и эксплуатации.

уметь:

- ☐ пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить численные оценки по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ видеть в технических задачах физическое содержание;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Разрушение при плоском напряженном состоянии. Методика испытаний.
2. Скорость роста трещин при циклических нагрузках. Кинетические диаграммы скорости роста трещин.
3. Формулы Пэриса, Формана и др. для расчета скорости роста трещин при регулярных нагрузках.
4. Модель Уилера для расчета скорости роста трещин при нерегулярных нагрузках.
5. Модель Уилленборга.
6. Модель Элбера.
7. Влияние металлургических факторов на трещиностойкость.
8. Основные характеристики живучести конструкций.
9. Периодичность осмотров конструкций.
10. Контролепригодность конструкций.
11. Регламентированные повреждения.
12. Остаточная прочность составных конструкций.
13. Остаточная прочность подкрепленных конструкций с трещиной в обшивке.

14. Остаточная прочность герметических фюзеляжей.
15. Остаточная прочность конструкций с поверхностными и угловыми трещинами.
16. Критерии остаточной прочности конструкций с многоочаговыми трещинами.
17. Требования к трещиностойкости конструкционных материалов.
18. Конструктивные методы обеспечения живучести.
19. Рассеяние скорости роста трещин и остаточной прочности.
20. Сертификационные испытания на живучесть натуральных конструкций
21. Нормативно-технические требования МОС АП 25.571. Обеспечение безопасности конструкции по условиям прочности при длительной эксплуатации, АР МАК, 1996.
22. Безопасный ресурс, допустимость повреждения, безопасность разрушения.
23. Методы обеспечения усталости и живучести планера на этапе проектирования.
24. Сертификационные испытания на ресурс авиационных конструкций.
25. Типизированные спектры нагружения планера при ресурсных испытаниях.
26. Методы и средства дефектоскопии в процессе ресурсных испытаний.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Краткий обзор развития исследований усталости и трещиностойкости в машиностроении и самолетостроении.
2. Безопасный ресурс авиационных конструкций.
3. Принципы безопасного разрушения и допустимого повреждения самолетных конструкций.
4. Усталостный процесс.
5. Характеристики сопротивления усталости.
6. Концентрация напряжений. Типы концентраторов и их влияние на усталость.
7. Влияние параметров цикла напряжений на усталостную долговечность.
8. Усталость при сложном напряженном состоянии.
9. Кривые усталости.
10. Усталость при нестационарном периодическом нагружении.
11. Усталостная долговечность при квазислучайном нагружении.
12. Типизированные программы квазислучайного нагружения.
13. Рассеяние характеристик усталости.
14. Методы расчета усталостной долговечности.
15. Линейная гипотеза суммирования усталостных повреждений.
16. Метод полных циклов.
17. Эквивалентные напряжения.
18. Деформационная теория усталости. Уравнения Коффина-Мэнсона.
19. Влияние температуры на усталостную долговечность.
20. Влияние технологических факторов на усталостную долговечность.
21. Влияние конструктивных факторов на усталостную долговечность соединений.
22. Влияние эксплуатационных факторов на усталостную долговечность.
23. Статистические характеристики усталостной долговечности соединений.
24. Усталость типовых элементов авиаконструкций.
25. Усталость продольных стыков крыла и фюзеляжа.
26. Методики испытаний образцов материалов на усталость.
27. Требования к характеристикам усталости конструкционных материалов. Справочные характеристики усталости авиационных материалов.
28. Усталость при акустическом нарушении.
29. Усталость шасси.
30. Сертификационные испытания крупногабаритных панелей и полномасштабных конструкций на усталость.
31. Поле напряжений при вершине трещины. Коэффициент интенсивности напряжений.
32. Пластическая зона при вершине трещины.
33. Критерий Гриффитса.

34. Критерий предельного раскрытия трещины.
35. Концепция R-кривых.
36. J-интеграл.
37. Аналитические методы определения коэффициентов интенсивности напряжений.
38. Метод конечных элементов определения коэффициентов интенсивности напряжений.
39. Экспериментальные методы определения коэффициентов интенсивности напряжений.
40. Вязкость разрушения при плоской деформации. Методика испытаний.

Билет 1

1. Исследования скорости роста трещин в процессе сертификационных испытаний.
2. Поэтапное и индивидуальное продление ресурса конструкций самолетов.

Билет 2

1. Испытания на остаточную прочность конструкций в конце усталостных испытаний планера самолета.
2. Фрактография поверхностей трещин, образовавшихся при испытаниях и в эксплуатации.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения зачета и экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Зачет и экзамен может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.