

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор передовой инженерной
школы радиолокации,
радионавигации и программной
инженерии**

М.А. Кудров

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Строительная механика металлокомпозитных 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) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: В.И. Бирюк, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры прочности летательных аппаратов 15.03.2024

Аннотация

После изучения дисциплины "Строительная механика металлокомпозитных конструкций" студент получит теоретические знания и практические навыки по их применению при исследованиях напряженно-деформированного состояния и устойчивости авиаконструкций, научиться правильно моделировать и решать конкретные проблемы, возникающие при проектировании ЛА, подготовиться к разработкам и использованию современного программного обеспечения по прочности для ЭВМ.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение прикладных методов и моделей теории упругости применительно к характерным для авиастроения тонкостенным каркасированным конструкциям из металлических и композиционных материалов. В курсе изучаются как континуальные (описываемые дифференциальными уравнениями), так и дискретные (сводящиеся к большим системам алгебраических уравнений) модели, а также современные схемы и примеры их решения. Отдельное внимание уделено теории пластин и оболочек, устойчивости, критериям и нелинейным задачам статической прочности, методу конечных элементов, термонапряженным конструкциям.

Задачи дисциплины

- получение студентами теоретических знаний и практических навыков по их применению при исследованиях напряженно-деформированного состояния и устойчивости авиаконструкций;
- обучение умению правильно моделировать и решать конкретные проблемы, возникающие при проектировании ЛА;
- подготовка к разработкам и использованию современного программного обеспечения по прочности для ЭВМ;
- расширение и интегрирование полученных в области прикладной теории упругости знаний в общую систему профессиональных знаний студентов по прочности ЛА.

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:

- континуальные и дискретные модели и методы прикладной теории упругости, в т. ч. для композитных и «горячих» конструкций.

уметь:

- использовать полученные знания при решении практических и новых задач, дальнейших исследованиях по развитию науки о прочности ЛА;
- правильно оценивать полученные результаты работ, предлагать инновационные и оптимальные решения.

владеть:

- навыками и методами решения задач ПТУ;
- навыками построения новых моделей и расчетных схем для конкретных авиаконструкций;
- опытом работы с новой информацией и литературой по дисциплине, в т. ч. на английском языке.

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	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		3
2	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		3
3	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
4	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
5	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
6	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		5
7	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		4
8	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
9	Строительная механика тонкостенных конструкций.		4		
10	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
11	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
12	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
13	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
14	Строительная механика тонкостенных конструкций.		2		
15	Устойчивость упругих систем.		4		5
16	Устойчивость упругих систем.		4		5
17	Устойчивость упругих систем.		4		5
18	Конструкционные материалы.		4		
19	Конструкционные материалы.		4		
20	Вопросы моделирования агрегатов конструкции.		2		
21	Вопросы моделирования агрегатов конструкции.		2		
22	Вопросы моделирования агрегатов конструкции.		4		

23	Вопросы моделирования агрегатов конструкции.		2		
Итого часов			60		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Работа внешних сил. Потенциальная энергия конструкции в общем случае нагружения.

2. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Теорема Кастилиано. Приложение теоремы Кастилиано к решению статически неопределимых задач. Принцип наименьшей работы. Теорема взаимности работ (Бетти).

3. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Теорема взаимности перемещений (Максвелла). Интеграл Мора, определение перемещений точек конструкции. Способ Верещагина.

4. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Расчет статически неопределимых систем методом сил. Степень статической неопределимости.

5. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Канонические уравнения метода сил. Упрощения при расчете симметричных систем. Расчет статически неопределимых систем методом перемещений.

6. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Степень кинематической неопределимости. Выбор неизвестных угловых и линейных перемещений. Соотношения между концевыми моментами и угловыми деформациями.

7. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Определение и классификация тонкостенных брусев. Понятия о свободном и стесненном кручении. Свободное кручение бруса с открытым профилем. Касательные напряжения при изгибе бруса с открытым профилем.

8. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Центр изгиба, вывод формул для определения координат центра изгибаю. Деформация точек поперечного сечения при кручении.

9. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Теория стесненного кручения тонкостенных брусев с открытым профилем. Вывод дифференциального уравнения стесненного кручения. Изгибно-крутящий бимомент.

10. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Интегрирование уравнения стесненного кручения, граничные условия. Применение метода начальных параметров к расчету стесненного кручения тонкостенного стержня.

11. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Свободное кручение тонкостенного бруса с замкнутым контуром. Определение касательных усилий (формула Бредта), углов закручивания и деформаций поперечного сечения.

12. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Касательные напряжения при изгибе тонкостенного бруса с замкнутым контуром. Центр изгиба. Касательные усилия при кручении и изгибе тонкостенного бруса с много замкнутым контуром поперечного сечения.

13. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Основные силовые элементы различных типов авиационных конструкций.

14. Строительная механика тонкостенных конструкций.

Распределение аэродинамических и инерционных нагрузок.

Семестр: 2 (Весенний)

15. Устойчивость упругих систем.

Продольный изгиб стержня в пределах упругости (задача Эйлера). Зависимость критической силы от условий закрепления стержня. Вывод общего уравнения упругой линии сжато-изогнутого стержня при действии распределенной и сосредоточенной нагрузок.

16. Устойчивость упругих систем.

Расчет стержней на продольно-поперечный изгиб методом начальных параметров. Устойчивость стержней переменного сечения при действии системы продольных сосредоточенных сил.

17. Устойчивость упругих систем.

Энергетические методы определения критической силы: метод энергетического баланса, метод Риза-Тимошенко. Пределы применимости формулы Эйлера. Устойчивость стержней при пластических деформациях за пределом упругости: теория Энгессера - Кармана, Энгессера - Шенли.

18. Конструкционные материалы.

Алюминиевые сплавы: Титановые сплавы. Стали. Композиционные материалы. Свойства конструкционных материалов. Расчетные характеристики конструкционных материалов.

19. Конструкционные материалы.

Конструктивно-силовая схема. Силовые элементы конструкции. Не силовые элементы конструкции.

20. Вопросы моделирования агрегатов конструкции.

Балочная модель крыла. Балочная модель стабилизатора и киля.

21. Вопросы моделирования агрегатов конструкции.

Балочная модель фюзеляжа.

22. Вопросы моделирования агрегатов конструкции.

Пластинная модель крыла малого удлинения.

23. Вопросы моделирования агрегатов конструкции.

Балочная модель элементов механизации.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Сопротивление материалов [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. Н. Работнов .— М. : Изд-во Моск. ун-та, 1950 .— 335 с.
2. Сопротивление материалов [Текст] : учебник для вузов / В. И. Феодосьев .— 9-е изд., перераб. — М. : Наука, 1986 .— 512 с.
3. Теория упругости [Текст] / С. П. Тимошенко ; пер. с англ. Н. А. Шошина .— Л. ; М. : Гостехиздат, 1934 .— 451 с.

Дополнительная литература

1. Расчет самолета на прочность [Текст] : учебник для вузов / В. М. Стригунов .— М. : Машиностроение, 1984 .— 374 с.
2. Устойчивость стержней пластин и оболочек [Текст]/С. П. Тимошенко , под ред. Э. И. Григолюка, -М., Наука, 1971

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)

используется мультимедийная доска.

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

Студент, изучающий дисциплину "Строительная механика металлокомпозитных 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 дифференцированному зачету.

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 лектору.

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) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	В.И. Бирюк, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

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 «Строительная механика металлокомпозитных конструкций» обучающийся должен:

знать:

- континуальные и дискретные модели и методы прикладной теории упругости, в т. ч. для композитных и «горячих» конструкций.

уметь:

- использовать полученные знания при решении практических и новых задач, дальнейших исследованиях по развитию науки о прочности ЛА;
- правильно оценивать полученные результаты работ, предлагать инновационные и оптимальные решения.

владеть:

- навыками и методами решения задач ПТУ;
- навыками построения новых моделей и расчетных схем для конкретных авиаконструкций;
- опытом работы с новой информацией и литературой по дисциплине, в т. ч. на английском языке.

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

1. В горизонтальном полете с самолета сбрасывается груз. Определить перегрузку и радиус искривления траектории в момент сброса груза.
2. Определить величину перегрузок n_y и n_z при выполнении самолетом правильного виража с углом крена γ .
3. Самолет попадает в резкоограниченный порыв неспокойного воздуха W . Определить радиус искривления траектории в начальный момент.
4. С какой целью вводится случай нагружения C для крыла, если перегрузка при этом $n_y = 0$, а скоростной напор такой же, как и в случае A' ?
5. В каком случае A' или D' расчетная разрушающая нагрузка на крыло больше? Имеет ли смысл рассматривать эти два случая?
6. В каком случае A или A' крутящий момент, действующий на крыло будет больше?
7. Почему при расчете узловых соединений вводится дополнительный коэффициент безопасности?
8. Какие виды нагрузок действуют на двигательные установки?
9. Найти наиболее невыгодное соотношение между составляющими скорости порыва неспокойного воздуха W_x и W_y для определения Δn_d при условии $W = \sqrt{W_x^2 + W_y^2} = 15 \text{ м/с}$.
10. Определить приращение перегрузки Δn_y при резком увеличении тяги двигателя на величину ΔP (исходный режим - горизонтальный полет).
11. Сравнить величины изгибающих моментов в корневом сечении крыла прямого и стреловидного крыльев при одинаковых $n_y G$ и одинаковых строительных размахах крыла.

12. Проанализировать влияние "кривизны земли" на величину перегрузки самолета.
13. Для профиля, укрепленного на пружине жесткости C , определить максимальные нагрузки от однократного порыва беспокойного воздуха.
14. Определить распределение перегрузок вдоль фюзеляжа самолета при посадке на главные шасси.
15. Определить распределение перегрузок вдоль фюзеляжа самолета при маневре в вертикальной плоскости.
16. Для самолета типа "летающее крыло" распределение веса конструкции и оборудования вдоль размаха имеет такую же форму как и распределение аэродинамических сил. Указать расчетный случай для крыла.
17. Для самолета с заданным расчетным весом горючее может быть размещено в крыле или в фюзеляже. Указать, какой вариант будет более тяжелым по прочности для крыла и для фюзеляжа в полетных и посадочных случаях нагружения.
18. Определить максимальные нагрузки при развороте самолета на рулежке, если задана скорость руления V , колея шасси $l_{ш}$, высота до центра масс самолета, вес самолета G и коэффициент сцепления шасси с поверхностью аэродрома μ .
19. Имеются две идентичные конструкции, изготовленные из разных материалов: из дюралю и пластмассы. Учитывая, что коэффициент вариации прочности для пластмассовых конструкций выше, чем для дюралевых $\gamma_{пл} > \gamma_{д}$, указать, в каком случае коэффициент безопасности должен иметь большую величину. Как произвести оценку значений коэффициентов безопасности?
20. Указать ограничение режимов эксплуатации самолета, если на готовом самолете обнаружен недостаток прочности крыла.
21. Определить ограничение режимов эксплуатации самолета, если на готовом самолете обнаружен недостаток прочности вертикального оперения.
22. Определить ограничение режимов эксплуатации самолета, если на готовом самолете обнаружен недостаток прочности горизонтального оперения.
23. В каком случае стояночные нагрузки на шасси самолета с тремя ногами (две главных и носовая стойка) будут больше:
 - а. стойки жесткие,
 - б. стойки мягкие (упругие)
24. Определить стояночные нагрузки на четыре опоры вертолета, стоящего на горизонтальной поверхности, если его центр масс смещен относительно центральных осей как указано на виде в плане: жесткости основных опор K_1 K_2 и передних опор K_1' K_2' заданы.
Что такое силовые элементы конструкции? Какова роль различных силовых элементов в крыле большого удлинения?
25. Какие нагрузки в сечении крыла действуют в полетных случаях и какими силовыми элементами они в основном воспринимаются?
26. Какие элементы конструкции крыла определяют жесткости изгиба и кручения?
27. Как будет изменяться величина крутящего момента в корне крыла при смещении оси жесткости к носку крыла?
28. Каково назначение нервюр крыла? Из каких соображений определяется расстояние между нервюрами?
29. Какой стык обшивки - продольный или поперечный - оказывается более нагруженным?
30. Для сечения крыла с заданными размерами определить положение центра жесткости:
 - а) тонкостенный швеллер,
 - б) трехлонжеронное крыло (площади всех полков одинаковые).
32. Определить величину наибольшего напряжения в корпусе баллистической ракеты, если на него действуют изгибающий момент $M_{изг}$ и внутреннее избыточное давление ΔP : отсек корпуса считать цилиндрическим.
33. Построить эпюры $M_{изг}$ и Q для свободной балки постоянного сечения с заданными размерами, на которую действует вертикальная сила P . Какому случаю нагружения самолета соответствует условие задачи?
34. Построить эпюры $M_{изг}$ и Q для свободной балки постоянного сечения, лежащей на гладкой поверхности: на конец балки параллельно плоскости действует сила P . Какому случаю нагружения самолета соответствует условие задачи?
35. Балка постоянного сечения лежит на двух опорах (см. рис.). Построить эпюры $M_{изг}$ и Q для начального момента, времени, когда одна из опор мгновенно убирается.

36. При статических испытаниях прямого крыла опытного самолета выявлено, что изгибная жесткость превышает определенную расчетом и принятую при определении $V_{кр}$ флаттера, а крутильная жесткость соответствует расчетной. Как изменится критическая скорость изгибно-крутильного флаттера?
37. Как изменится критическая скорость изгибно-крутильного флаттера прямого крыла, если его жесткость на кручение увеличивается на 20%?
38. Почему противифлаттерные грузы-балансиры для повышения $V_{кр}$ изгибно-крутильного флаттера устанавливаются, как правило в носке концевой части крыла ?
39. Как проявляется приближение скорости полета к критической скорости реверса элеронов?
40. Где рационально устанавливать бустер: ближе к рулевой-поверхности или ближе к рычагу управления?
41. Получить выражение для потенциальной энергии деформации балки переменного сечения при кручении и изгибе.
42. Определить критическую скорость дивергенции жесткого отсека крыла, укрепленного на двух упругих стальных стержнях круглого сечения: длина Δl , диаметр стержней d
43. Определить отношение критических скоростей реверса и дивергенции полужесткого элемента крыла. Проанализировать влияние различных параметров.
44. Определить критическую скорость дивергенции прямого крыла с баком на конце: заданы $GJ_p = \text{const}$, $m\alpha(z)$, $m\alpha(\text{бак})$ размеры и инерционно-массовые характеристики.
45. Определить формы и частоты собственных изгибных колебаний балки постоянного сечения
46. Определить формы и частоты собственных изгибных колебаний балки постоянного сечения $EJ_p = \text{const}$ $m(z) = \text{const}$ с грузом на конце.
47. Определить собственную частоту инерционного демпфера (масса m с люфтом), если заданы жесткости пружин k_1 , и k_2 . Построить зависимость частоты от величины зазора α и начальной скорости V_0 , трением пренебречь.
48. Определить собственную частоту маятникового демпфера и построить зависимость частоты от начальной амплитуды колебаний (удар о стенку считать абсолютно упругим, a/l малая величина).
49. Почему у носовых опор шасси предусматривается вынос колес назад относительно оси ориентира?
50. Конструкция была нагружена $N_1 = 20000$ циклами нагрузки. Разрушающее число циклов при этой нагрузке $N_{1p} = 50000$. Применяя закон линейного суммирования усталостных повреждений, определить сколько циклов до разрушения выдержит конструкция после этого, если последующее нагружение производится нагрузкой с амплитудой P_2 , которой соответствует разрушающее число циклов $N_{2p} = 100.000$.
51. Определить долговечность элемента конструкции при действии напряжения $\sigma(t) = \sigma_0(3 + \sin \pi/30 t)$ если задана кривая Веллера
52. Определить долговечность детали, нагруженной периодическим циклом напряжения, приведенным на рисунке. Кривая Веллера задана.
53. Два неманевренных самолета идентичной конструкции используются для полетов на разных высотах: первый на 10000 м, второй на 1000 м. У какого самолета будет больше срок службы?

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

Примерные вопросы к зачету:

1. Современные методы регламентирования прочности летательных аппаратов. Нормы прочности самолетов.
2. Классификация самолетов в Нормх прочности.
3. Максимальная эксплуатационная перегрузка при маневре.
4. Вывод формулы для маневренной перегрузки с помощью теории подобия и размерностей.
5. Соотношение для отрицательных маневренных перегрузок.
6. Эффективный порыв неспокойного воздуха.
7. Максимальная эксплуатационная перегрузка при полете в неспокойном воздухе.
8. Соотношение для минимальной перегрузки при полете самолета в неспокойном воздухе.

9. Устройство простейших перегрузочных приборов типа V - g.
10. Оценка влияния "кривизны земли" на величины перегрузок современных самолетов.
11. Максимальные эксплуатационные нагрузки. Расчетные нагрузки.
12. Расчетные случаи нагружения крыла.
13. Определение нагрузок, действующих на конструкцию крыла самолета в полетных и посадочных случаях.
14. Построение эпюр Q_y , $M_{изг}$, $M_{кр}$ для крыла.
15. Определение угла отклонения элеронов в случаях нагружения В и С.
16. Случаи нагружения элеронов и взлетно-посадочной механизации крыла.
17. Как изменяется распределение погонных аэродинамических нагрузок на упругом крыле по сравнению с жестким крылом, если стреловидность крыла $\chi = 0$, $\chi > 0$, $\chi < 0$.
18. Случаи нагружения горизонтального оперения.
19. Случаи нагружения вертикального оперения.
20. Нагрузки, действующие на фюзеляж самолета.
21. Построение эпюр Q_y , Q_z , M_y , M_z , M_x для фюзеляжа в различных случаях нагружения.
22. Случаи нагружения проводки управления.
23. Определение нагрузок на шасси в посадочных случаях, перегрузки при посадке.
24. Вывод формулы для скорости парашютирования самолета.
25. Определение редуцированной массы самолета при посадке на основные шасси.
26. Случаи нагружения шасси.
27. Кривые повторяемости нагрузок и их использование в нормировании расчетных условий прочности.
28. Применение метода статистического моделирования для определения эксплуатационных нагрузок.
29. Вывод формулы для вероятности разрушения самолета. Надежность конструкции.
30. Вероятностные методы оценки величин коэффициентов безопасности.
31. Функция распределения прочности при хрупком разрушении и функция распределения прочности авиационных конструкций.
32. Вероятностно-статистические методы нормирования прочности.
33. Основные положения расчетных условий прочности сверхзвуковых пассажирских самолетов.
34. Особенности нагружения крылатых ракет.
35. Методы определения внешних нагрузок при транспортировке ракет наземным транспортом.
36. Особенности нагружения баллистических ракет.
37. Нагружение конструкции баллистических ракет при стоянке на открытой стартовой площадке.
38. Общая постановка задач аэроупругости. Метод Бубнова-Галеркина и метод уравнений Лагранжа.
39. Вывод уравнений изгибно-крутильных колебаний консольно защемленного крыла в потоке воздуха.
40. Упругая схема крыла большого удлинения в задачах аэроупругости.
41. Определение форм и частот собственных изгибных и крутильных колебаний крыла.
42. Вывод условий ортогональности собственных форм изгибных колебаний консольно закрепленной балки.
43. Метод Рэлея определения собственных частот колебаний упругой балки.
44. Определение форм и частот собственных изгибно-крутильных колебаний крыла.
45. Определение форм и частот собственных колебаний высших тонов.

Примерные вопросы к дифференцированному зачету:

1. Определение аэродинамических нагрузок на колеблющемся крыле. Стационарная и нестационарная теория.
2. Определение критической скорости флаттера для полужесткой схемы (профиль на пружинках).
3. Изгибно-крутильный флаттер прямого крыла.
4. Метод Бубнова-Галеркина в применении к задачам аэроупругости.

5. Причины флаттера и методы определения критической скорости флаттера.
6. Зависимость критической скорости флаттера от параметров конструкции.
7. Методы повышения критической скорости флаттера.
8. Влияние автоматических систем управления (САУ) на величину критической скорости флаттера.
9. Запасы по скорости и по параметрам в аэроупругости.
10. Вывод соотношений для потенциальной энергии крутильных и изгибных деформаций консольно закрепленной балки.
11. Роль трубного эксперимента в задачах определения критической скорости.
12. Моделирование явлений аэроупругости в аэродинамических трубах.
13. Схемы упруго подобных моделей для испытаний в аэродинамических трубах.
14. Вывод уравнений шимми для свободно ориентирующегося носового колеса. Характерные особенности задачи.
15. Шимми носового шасси самолета.
16. Шимми и основные методы борьбы с автоколебаниями шасси.
17. Дивергенция крыла.
18. Определение критической скорости дивергенции прямого консольно закрепленного крыла.
19. Реверс элеронов. Определение критической скорости.
20. Метод редуционных коэффициентов в статической прочности.
21. Предельные состояния конструкции (критерии прочности) по условиям статической прочности.
22. Касательные напряжения в тонкостенных авиационных конструкциях. Формула Жуковского и формула Брэдта.
23. Определение нормальных и касательных напряжений в прямом крыле. Значение различных элементов силового набора.
24. Особенности расчета на прочность стреловидного крыла.
25. Методы расчета на прочность треугольного крыла. Метод конечных элементов.
26. Восприятие внешних нагрузок различными силовыми элементами фюзеляжа.
27. Определение нормальных напряжений в элементах конструкции фюзеляжа.
28. Расчет на прочность хвостовой части фюзеляжа.
29. Определение касательных напряжений в фюзеляже.
30. Определение положения центра жесткости сечения.
31. Методы определения общих и местных деформаций конструкции под действием статических нагрузок.
32. Влияние повышенных температур на прочность авиационных конструкций. Ползучесть.
33. Методы определения распределения температур по поверхности летательного аппарата.
34. Проверка прочности конструкции статическими испытаниями.
35. Методы испытания конструкции при высоких температурах.
36. Особенности напряженного состояния корпуса баллистических ракет.
37. Источники переменных внешних нагрузок, действующих на самолет, и методы представления переменных нагрузок.
38. Метод полных циклов, цикл "земля-воздух-земля (ЗВЗ)".
39. Кривые повторяемости нагрузок и их использование в усталостной прочности.
40. Кривая Веллера. Предел выносливости. Гипотеза Одинга.
41. Линейная теория суммирования усталостных повреждений.
42. Влияние различных конструктивных особенностей на усталостную прочность.
43. Методы повышения долговечности деталей.
44. Определение эквивалентного симметричного и отнулевого цикла.
45. Определение характерного режима испытаний. Программы испытаний самолета на выносливость.
46. Безопасный срок службы. Живучесть конструкции.
47. Остаточная прочность, регламентирование остаточной прочности в Нормах прочности.
48. Методы определения ресурса самолетных конструкций.
49. Назначение и величины коэффициентов надежности в усталостной прочности.

Критерии оценивания

Зачет:

Оценка "зачтено" ставится, если индивидуальное задание выполнено в полном объеме, имеются отдельные недостатки в оформлении представленного материала.

Оценка "не зачтено" ставится, если задание выполнено лишь частично, имеются многочисленные замечания по оформлению собранного материала.

Дифференцированный зачет:

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.

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

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

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