

**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:	Методы оптимизации конструкций летательных аппаратов
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии
	Физтех-школа авиационных и цифровых технологий
	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: К.А. Балунов

Программа обсуждена на заседании кафедры прочности летательных аппаратов 04.06.2020

Аннотация

Постоянно повышающиеся требования к весовой эффективности и времени на разработку конструкций приводят к необходимости интеграции продвинутых методов оптимизации в общий процесс проектирования. В рамках данного курса студентам даются базовые знания в области аналитических и численных методов решения задач оптимизации. Обсуждаются принципы построения численных методов поиска безусловного и условного экстремума функций многих переменных и аспекты практического применения методов оптимизации в задачах проектирования конструкций. Изучаются темы связанные с современными методами расчета характеристик прочности авиационных конструкций применительно к типовым и перспективным конструктивным решениям, способами оценки уровня технической эффективности и конкурентоспособности летательных аппаратов, чувствительностью характеристик самолета к основным авиационным технологиям, критериями проектирования летательного аппарата по требованиям аэродинамики, прочности конструкции, систем управления, силовой установки, акустики, стоимости создания, стоимости эксплуатации, а также аспекты взаимосвязи функциональных требований, возникающих из различных дисциплин, в процессе проектирования конструкции летательного аппарата

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

закрепление у студентов знаний по проектированию конструктивно-силовых схем и конструктивных элементов конструкции. Содержание курса знакомит студентов с требованиями, предъявляемых к конструкции планера, начиная от нормативных требований, расчетных условий нагружения, требований безопасности от явлений аэроупругости, требований по обеспечению ресурса и живучести. Содержание курса представляет собой курс, который предваряет обширную специальную литературу по проектированию конструкции летательного аппарата, в нем изучаются критерии проектирования, взаимосвязь различных дисциплин, включая аэродинамику и системы управления. Современные методы расчетов прочности самолетных конструкций рассматриваются применительно к типовым конструкциям и перспективным конструктивным решениям.

Задачи дисциплины

формирование у студентов базовых знаний в области проектирования конструктивных силовых схем, методы проектирования, особенности работы конструкторских бюро при создании самолетов, критерии конкурентоспособности и способы достижения лучших конструктивных решений.

Обеспечение прочности ЛА в процессе его проектирования и испытаний является важной и сложной задачей, так как его конструкция должна удовлетворять требованиям высокой безопасности при минимальных массах силовых элементов. В современном понимании прочность ЛА - это способность его конструкции сохранять целостность (не разрушаться) во всех ожидаемых условиях эксплуатации в течение назначенного срока службы, иметь высокий уровень весового совершенства и технологичности. Должны быть рассмотрены следующие вопросы: способы оценки уровня технической эффективности и конкурентоспособности самолетов, особенности при проектировании военной техники, чувствительность характеристик самолета к основным авиационным технологиям, критерии проектирования летательного аппарата в области, аэродинамики, прочности конструкции, систем управления, силовой установки, акустики, стоимости создания, стоимости эксплуатации, взаимосвязь различных дисциплин.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности

	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
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:

- способы использования методов моделирования элементов и агрегатов конструкций при нагружении;
- требования, предъявляемые к конструкции при проектировании;
- критерии проектирования и взаимосвязь различных дисциплин;
- методы оптимизации конструкции;
- особенности применения конструкционных материалов в конструкции;
- способы использования 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:

- использовать методы проектирования элементов летательных аппаратов;
- обучающиеся должны уметь использовать методы оптимизации при проектировании элементов ЛА в соответствии с требованиями к ЛА.

владеть:

- навыками инженерного проектирования элементов конструкции.

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	Общая постановка задачи оптимизации и основные положения		15		7
2	Численные методы оптимизации		15		8
3	Требования, предъявляемые к конструкции планера ЛА		15		7
4	Методы проектирования конструкций планера ЛА		15		8
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. Общая постановка задачи оптимизации и основные положения

Постановка задачи. Терминология. Общие понятия о задаче оптимизации. Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума. Необходимые и достаточные условия условного экстремума.

2. Численные методы оптимизации

Принципы построения численных методов поиска безусловного экстремума.

Методы нулевого порядка. Методы одномерной оптимизации. Метод равномерного поиска. Метод дихотомии. Метод золотого сечения. Метод квадратичной интерполяции. Метод Розенброка. Методы случайного поиска.

Методы первого порядка. Метод наискорейшего градиентного спуска. Метод покоординатного спуска. Методы сопряженного градиента. Метод Гаусса-Зейделя. Метод Флетчера-Ривса. Метод Давидона-Флетчера-Пауэлла. Метод кубической интерполяции. Методы второго порядка. Метод Ньютона. Метод Ньютона-Рафсона. Модификация Марквардта.

Принципы построения методов поиска условного экстремума.

Методы последовательной безусловной оптимизации. Методы штрафов. Методы барьерных функций. Методы множителей. Методы точных штрафов.

Методы возможных направлений. Метод проекции градиента. Метод Зойтендейка.

Задачи линейного программирования. Методы решения задач линейного программирования. Симплекс-метод Данцига. Двухфазный симплекс-метод.

Методы решения задач линейного целочисленного программирования. Метод ветвей и границ. Метод Гомори.

Семестр: 2 (Весенний)

3. Требования, предъявляемые к конструкции планера ЛА

Способы оценки уровня технической эффективности и конкурентоспособности самолетов. Особенности при проектировании военной техники. Чувствительность характеристик самолета к основным авиационным технологиям.

Критерии проектирования летательного аппарата в области, аэродинамики, прочности конструкции, систем управления, силовой установки, акустики, стоимости создания, стоимости эксплуатации. Взаимосвязь различных дисциплин.

Многодисциплинарная оптимизация при выборе компоновочных и геометрических параметров летательного аппарата (взлетный вес, площадь крыла, площадь оперения, стреловидность, компоновочные и геометрические параметры механизации, толщины профилей, связь с задачами проектирования конструкции).

Постановка задачи оптимального проектирования. Обзор существующих математических методов, алгоритмов и программ. Изменение технологии проектирования конструкции в связи с использованием ЭВМ.

Математическая постановка задачи оптимального проектирования конструкции. Пространство проектных переменных. Область допустимых конструкций. Функционал, учитывающий требования веса, прочности, аэроупругости, ресурса и стоимости.

Практические аспекты применения алгоритмов решения задачи оптимального проектирования конструкций. Методы нелинейного программирования. Градиентные методы. Метод проекции градиента. Метод сопряженных градиентов. Штрафные функции. Метод внутренней точки, метод внешней точки. Метод возможных направлений.

Использование условий оптимальности для решения задач оптимального проектирования конструкции. Условие максимума жесткости конструкции. Необходимое условие максимума частоты собственных колебаний. Использование принципа Максимиума. Градиентные методы в функциональном пространстве. Примеры использования методов оптимизации в реальных конструкциях.

4. Методы проектирования конструкций планера ЛА

Расчетные случаи нагружения летательного аппарата. Расчетные случаи нагружения агрегатов летательного аппарата. Крыло. Оперение. Фюзеляж. Шасси. Нагруженность элементов механизации. Рули. Элероны.

Компоновочные схемы летательных аппаратов. Типовые конструкции летательных аппаратов. Компоновочные и кинематические схемы механизации. Особенности конструкции механизации. Конструктивно-силовые схемы.

Многодисциплинарный подход (МДО). Математические модели, используемые для расчета аэродинамических нагрузок. Математические модели, используемые для описания упругого поведения конструкции.

Методы выбора конструктивно-силовых схем. Синтез конструктивно-силовой схемы на основе дискретной модели конструкции (стержневая схема, конечно-элементные модели). Применение методов линейного программирования к синтезу конструктивно-силовой схемы.

Ограничения по статической прочности, усталостной долговечности, эксплуатационной живучести (боевой живучести). Учет требований усталостной долговечности и живучести при проектировании. Теория развития трещин. Гипотезы линейного суммирования повреждений. Способы анализа внешних нагрузок для расчетов ресурса.

Определение функции распределения масс и жесткостей при учете требований динамической прочности и аэроупругости. Способы учета различных функциональных ограничений. Многокритериальные задачи.

Конструкционные материалы (алюминиевые сплавы, титановые сплавы, стали, композиционные материалы). Свойства конструкционных материалов. Формирование технических требований к конструкционным материалам. Многофункциональные конструкционные материалы. Особенности технологии производства композиционных конструкций.

Весовой анализ конструкций летательных аппаратов. Чувствительность весового совершенства к различным параметрам. Примеры проектирования реальных самолетов. Ошибки проектирования конструкции.

Опыт проектирования конструктивно-силовых схем современных самолетов. Обобщенные критерии проектирования.

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Физические основы прочности и пластичности: Введение в теорию дислокаций [Текст], [монография]/Л. И. Миркин, -М., Изд-во Моск. ун-та, 1968

Дополнительная литература

1. Динамические нагрузки на самолет [Текст]/О. А. Кузнецов, -М., Физматлит, 2008

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.

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

Студент, изучающий дисциплину "Методы оптимизации конструкций ЛА", 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 дифференцированному зачету и 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.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра прочности летательных аппаратов
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: К.А. Балунов

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
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 «Методы оптимизации конструкций летательных аппаратов» обучающийся должен:

знать:

- способы использования методов моделирования элементов и агрегатов конструкций при нагружении;
- требования, предъявляемые к конструкции при проектировании;
- критерии проектирования и взаимосвязь различных дисциплин;
- методы оптимизации конструкции;
- особенности применения конструкционных материалов в конструкции;
- способы использования 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:

- использовать методы проектирования элементов летательных аппаратов;
- обучающиеся должны уметь использовать методы оптимизации при проектировании элементов ЛА в соответствии с требованиями к ЛА.

владеть:

- навыками инженерного проектирования элементов конструкции.

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

- Необходимые и достаточные условия безусловного экстремума.
- Необходимые и достаточные условия условного экстремума.
- Принципы построения численных методов поиска безусловного экстремума.
- Методы оптимизации нулевого порядка.
- Методы оптимизации первого порядка.
- Метод Ньютона-Рафсона. Модификация Марквардта.
- Принципы построения методов поиска условного экстремума.
- Методы штрафов.

- Методы барьерных функций.
- Методы множителей.
- Методы возможных направлений.
- Метод проекции градиента.
- Метод Зойтендейка.
- Задачи линейного программирования.
- Двухфазный симплекс-метод.
- Методы решения задач линейного целочисленного программирования.
- Способы оценки уровня технической эффективности и конкурентоспособности самолетов.
- Особенности при проектировании военной техники.
- Чувствительность характеристик самолета к основным авиационным технологиям.
- Критерии проектирования летательного аппарата в области, аэродинамики, прочности конструкции, систем управления, силовой установки, акустики, стоимости создания, стоимости эксплуатации.
- Многодисциплинарная оптимизация при выборе компоновочных и геометрических параметров летательного аппарата (взлетный вес, площадь крыла, площадь оперения, стреловидность, компоновочные и геометрические параметры механизации, толщины профилей, связь с задачами проектирования конструкции).
- Постановка задачи оптимального проектирования.
- Математическая постановка задачи оптимального проектирования конструкции.
- Практические аспекты применения алгоритмов решения задачи оптимального проектирования конструкций.
- Использование условий оптимальности для решения задач оптимального проектирования конструкции.
- Расчетные случаи нагружения летательного аппарата.
- Расчетные случаи нагружения агрегатов летательного аппарата.
- Компоновочные схемы летательных аппаратов. Типовые конструкции летательных аппаратов.
- Многодисциплинарный подход (МДО).
- Математические модели, используемые для расчета аэродинамических нагрузок.
- Математические модели, используемые для описания упругого поведения конструкции.
- Методы выбора конструктивно-силовых схем.
- Синтез конструктивно-силовой схемы на основе дискретной модели конструкции (стержневая схема, конечно-элементные модели).
- Применение методов линейного программирования к синтезу конструктивно-силовой схемы.
- Ограничения по статической прочности, усталостной долговечности, эксплуатационной живучести (боевой живучести).
- Учет требований усталостной долговечности и живучести при проектировании.
- Определение функции распределения масс и жесткостей при учете требований динамической прочности и аэроупругости.
- Способы учета различных функциональных ограничений.
- Многокритериальные задачи.
- Весовой анализ конструкций летательных аппаратов.
- Чувствительность весового совершенства к различным параметрам.
- Примеры проектирования реальных самолетов.
- Ошибки проектирования конструкции.
- Обобщенные критерии проектирования.

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

1. Классификация нагрузок.
2. Понятия расчетных случаев.
3. Понятие расчетных весов, скоростей, конфигураций.
4. Диаграмма "скорость - перегрузка".
5. Элеронные случаи нагружения.
6. Расчетные случаи при маневре самолета в вертикальной и горизонтальной плоскости.

7. Отказ двигателя.
8. Пространственный маневр и влияние автоматики.
9. Способы снижения маневренных нагрузок.
10. Особенности нагружения беспилотных и воздушно-космических аппаратов
11. Методы определения аэродинамических распределенных и суммарных нагрузок.
12. Влияние на аэродинамические нагрузки угла атаки, числа Маха и деформаций.
13. Гипотеза квазистационарности и нестационарная аэродинамика при колебаниях.
14. Расчет нагрузок на дозвуковых и сверхзвуковых скоростях полета.
15. Турбулентность атмосферы и методы ее изучения.
16. Однократные порывы и непрерывная турбулентность.
17. Статистические характеристики перегрузок.
18. Спектральные плотности турбулентности.
19. Расчетные динамические схемы - балочные, пластинные и применяемые при методе конечных элементов.
20. Метод форм, многочленов и МКЭ.
21. Уравнения движения и методы их решения во временной и частотной областях.
22. Экспериментальные методы - в аэродинамических трубах и при натурных летных испытаниях.
23. Влияние автоматики и системы парирования нагрузок в полете.
24. Различные схемы шасси и характеристики амортизации.
25. Раскрутка колес.
26. Нормированная работа.
27. Динамическая посадка.
28. Детерминированные и случайные неровности.
29. Спектральные характеристики нагрузок при пробеге.
30. Особые случаи нагружения (воздействие ударной волны, пролет через вихревой след, дисбаланс двигателя, потерявшего лопатку).
31. Отечественные и зарубежные подходы к определению коэффициента безопасности.
32. Статистические характеристики эксплуатационных нагрузок и несущих способностей конструкции.
33. Дополнительные коэффициенты безопасности.
34. Особенности нормирования для композитных конструкций

Билет 1

1. Принципы построения методов поиска условного экстремума.
2. Двухфазный симплекс-метод.

Билет 2

1. Использование условий оптимальности для решения задач оптимального проектирования конструкции.
2. Методы выбора конструктивно-силовых схем.

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.

Зачет 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.

Незачет 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 обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

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

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

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