

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**УТВЕРЖДАЮ**

**Проректор по УМР**

  
**Криницин В.В.**  
"01" "10" \_\_\_\_\_ 2007 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Моделирование систем и процессов (ЕН.Ф.06)**

(наименование, шифр по ГОС)

**Специальность 160901 – Техническая эксплуатация летательных аппаратов  
и двигателей**

(шифр по ГОС)

**Факультет \_\_\_\_\_ Механический**

**Кафедра Аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов**

**Курс III, Форма обучения \_\_\_\_\_ дневная .**

**Общий объем учебных часов на дисциплину \_\_\_\_\_ 180 часов**

**Аудиторные занятия – 100 часов, в том числе:**

**Лекции \_\_\_\_\_ 72 часа**

**Практические занятия \_\_\_\_\_ 8 часов**

**Лабораторные занятия \_\_\_\_\_ 20 часов**

**Самостоятельная работа \_\_\_\_\_ 80 часов**

**Домашнее задание \_\_\_\_\_ III курс**

**Экзамен \_\_\_\_\_ III курс**

Москва – 2007

Рабочая программа составлена на основании примерной учебной программы дисциплины и в соответствии с Государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускника по специальности 160901 – "Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей".

Рабочую программу составил:  
Кубланов М.С., профессор, д.т.н.  
 (Ф.И.О., звание, степень)

  
 (подпись)

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры,  
 протокол № 1 от 4 сентября 2007 г.

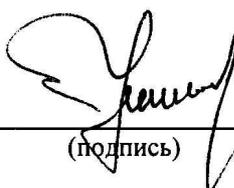
Заведующий кафедрой  
Ципенко В.Г., профессор, д.т.н.  
 (Ф.И.О., звание, степень)

  
 (подпись)

Рабочая программа одобрена методическим советом по специальности 160901 – Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей  
 (наименование)

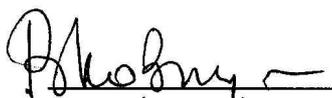
Протокол № 1 от 18.09 2007 г.

Председатель методического совета  
Чинючин Ю.М., профессор, д.т.н.  
 (Ф.И.О., звание, степень)

  
 (подпись)

Рабочая программа согласована с Учебно-методическим управлением (УМУ)

Начальник УМУ  
Логачев В.П.  
 (Ф.И.О.)

  
 (подпись)

## 1. Цель и задачи дисциплины

### 1.1. Цель преподавания дисциплины

Целью дисциплины является формирование у студентов знаний методических основ разработки и применения моделей процессов и систем в авиационной технике.

1.2. Задачи изучения дисциплины (минимально необходимый комплекс знаний и умений)

#### 1.2.1. Иметь представление:

- о классификации моделей;
- о методике разработки моделей в научных и инженерных исследованиях;
- о методике применения моделей в научных и инженерных исследованиях;
- о методах оценки адекватности моделей поведению изучаемого объекта;
- о математических методах, применяемых в моделировании;
- о методах планирования вычислительного эксперимента;
- о задачах идентификации и оптимизации.

#### 1.2.2. Знать:

- основные понятия теории моделирования;
- основные типы моделей процессов и систем;
- основные требования, предъявляемые к разработке математических моделей.

#### 1.2.3. Уметь:

- составлять математическое описание математических моделей;
- проводить вычислительный эксперимент на детерминированной математической модели;
- проводить вычислительный эксперимент на математической модели случайного процесса.

1.2.4. Иметь опыт составления математического описания для простейших математических моделей объектов авиационной техники, составления плана вычислительного эксперимента, проведения вычислительного эксперимента на простейшей математической модели случайного процесса.

## 2. Содержание дисциплины.

### 2.1. Наименование разделов (подразделов), объем в часах.

Ссылки на литературу, содержание лекций.

Раздел 1. Введение. 2 часа. [1].

Лекция 1.1. Введение.

Научная абстракция. Законы и закономерности. Особенность сложных систем и процессов.

Раздел 2. Понятие моделирования. 2 часа. [1].

Лекция 2.1. Понятие моделирования.

Сходство объектов. Понятия оригинала и модели. Примеры моделей. Понятие моделирования. Процесс моделирования и необходимая последовательность этапов этого процесса. Причины, вынуждающие применять моделирование.

Раздел 3. Классификация моделей. 2 часа. [1].

Лекция 3.1. Классификация моделей.

Два аспекта отношения модели к оригиналу. Классификация моделей по особенностям выражения свойств оригинала и особенности функционирования модели. Классификация моделей по основаниям для преобразования свойств модели в свойства оригинала. Пример: маятник.

Раздел 4. Математические модели и их виды. 4 часа. [1].

Лекция 4.1. Математические модели и их виды.

Математическое описание. Виды математического описания. Полнота математического описания. Отличие математической модели от ее математического описания. Виды математических моделей. Понятие "математическая модель в узком смысле" – подобная детерминированная математическая модель.

Лекция 4.1. Составление подобной детерминированной модели.

Пример: математическая модель разбега самолета Ан-2 при взлете. Понятие "имитационная модель" – стохастическая математическая модель. Состав математического описания имитационных моделей и их особенности.

Раздел 5. Адекватность математической модели. 6 часов. [1].

Лекция 5.1. Адекватность математической модели.

Вычислительный эксперимент. Понятие о планировании вычислительного эксперимента. Достоверность результата. Пример. Понятие об адекватности математической модели.

Лекция 5.2. Статистическая основа проверки адекватности.

Необходимые данные для проверки адекватности. Факторы, которые необходимо учитывать при проверке адекватности. Примеры. Точность и погрешность. Абсолютная и приведенная погрешности. Понятие грубой, случайной и систематической погрешности.

Лекция 5.3. Оценка погрешности.

Причины возникновения погрешности при математическом моделировании. Оценка погрешности приближенных вычислений.

Раздел 6. Понятие об обратных задачах: задачи идентификации и оптимизации. 2 часа. [1].

Лекция 6.1. Понятие об обратных задачах: задачи идентификации и оптимизации.

Задача идентификации при построении математической модели. Пример идентификации математической модели разбега самолета Ан-2 при взлете. Методы решения задач идентификации. Понятие об обратных задачах. Задача оптимизации.

Раздел 7. Алгоритм научных исследований с помощью моделирования. 2 часа. [1].

Лекция 7.1. Алгоритм научных исследований с помощью моделирования.

Строгость процесса моделирования. Алгоритм научных исследований с помощью моделирования. Процессы построения модели и ее идентификации. Примеры.

Раздел 8. Проблемы построения моделей. 2 часа. [1].

Лекция 8.1. Проблемы построения моделей.

Сложные и простые модели. Построение модели как компромисс между простотой и адекватностью. Проблемы построения моделей. "Многокритериальность", "проклятие размерности". Проблема адекватности. Методы математического моделирования. Ранжирование, агрегирование. Методы экспертных оценок. Теория катастроф. Методы последовательных приближений, проб и ошибок, перебора. Многомерный статистический анализ.

Раздел 9. Подобие и анализ размерностей. 4 часа. [1].

Лекция 9.1. Подобие и анализ размерностей.

Подобие. Анализ размерностей как метод математического моделирования. Степенной комплекс. Понятие о П-теореме. Критерий подобия.

Лекция 9.2. Примеры.  
Примеры.

Раздел 10. Алгоритм статистической оценки адекватности модели. 2 часа. [2].

Лекция 10.1. Алгоритм оценки адекватности модели.

Оценка адекватности математической модели как задача математической статистики. Случайность и закономерность рассогласования. Систематическая погрешность. Оценка рассогласования. Построение статистического закона распределения и определение статистических оценок его параметров. Проверка критерия значимости гипотезы о равенстве нулю математического ожидания рассогласования. Проверка критерия согласия между наблюдаемым и нормальным законами распределения рассогласования. Доверительные интервалы для оценки точности.

Раздел 11. Методы экспертных оценок. 2 часа. [2].

Лекция 11.1. Методы экспертных оценок.

Раздел 12. Понятие о теории графов. 2 часа. [1].

Лекция 12.1. Понятие о теории графов.

Раздел 13. Понятие о теории массового обслуживания и методе Монте-Карло. 2 часа. [1].

Лекция 13.1. Понятие о теории массового обслуживания. Понятие о методе Монте-Карло.

Понятие о теории массового обслуживания. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) как прием для имитации работы системы. Единичный жребий и процедуры его реализации. Пример построения имитационной математической модели работы аэродрома. Возможность выявления новых свойств объекта при имитационном моделировании.

Раздел 14. Понятие о вычислительных методах. 10 час. [1].

Лекция 14.1. Понятие о вычислительных методах решения алгебраических уравнений.

Методы алгебры: решение систем алгебраических уравнений – методы исключения, итерационные методы. Методы: секущих (хорд), деления отрезка пополам, золотого сечения, касательных (Ньютона).

Лекция 14.2. Понятие о вычислительных методах работы с функциями.

Методы алгебры: методы интерполяции (линейная, квадратичная, полиномиальная, сплайновая, пример), методы аппроксимации. Пример особенностей аппроксимации поляры самолета.

Лекция 14.3. Понятие о вычислительных методах решения дифференциальных уравнений.

Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений (задача Коши) – разностные методы: Эйлера, Адамса, "прогноз-коррекция", Рунге-Кутта. Понятие о возможности контроля погрешности и изменения шага интегрирования.

Лекция 14.4. Анализ методов.

Пример: сравнение простейших методов численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений (решения задачи Коши).

Лекция 14.5. Методы решения краевых задач. Методы интегрирования дифференциальных уравнений с частными производными.

Методы решения краевых задач: методы прогонки и стрельбы. Методы интегрирования дифференциальных уравнений с частными производными: разностные методы, сеточные функции.

Раздел 15. Понятие о математических методах оптимизации. 12 часов.  
[1].

Лекция 15.1. Общие понятия. Задача линейного программирования.

Общая формулировка задач оптимизации. Уравнения связей, фазовые координаты, управления, критерий оптимальности (целевая функция). Пример. Типы задач оптимизации.

Задача линейного программирования. Описание симплекс-метода (формы записи и виды решений).

Лекция 15.2. Решение задачи линейного программирования.

Пример решения задачи линейного программирования симплекс-методом. Особенности линейной постановки экономических задач оптимизации.

Лекция 15.3. Задача нелинейного программирования.

Задача нелинейного программирования. Классический подход. Пример решения нелинейной оптимизационной экономической задачи.

Лекция 15.4. Задача нелинейного программирования.

Методы решения задач нелинейного программирования для унимодального критерия оптимальности от одного переменного: методы деления отрезка пополам и золотого сечения. Общий случай задачи нелинейного программирования и градиентные методы.

Лекция 15.5. Понятие о задачах вариационного исчисления и оптимального управления.

Задача вариационного исчисления, "прямые" и "непрямые" методы.

Задача оптимального управления, Принцип максимума Л.С. Понтрягина и метод динамического программирования Р. Беллмана.

Лекция 15.6. Примеры.

Примеры решения задач методом динамического программирования.

Раздел 16. Модели механики. 12 часов. [3].

Лекция 16.1. Структура механики. Понятие механики сплошной среды.

Структура механики и место изучаемых дисциплин. Понятие механики сплошной среды. Гипотезы математического моделирования сплошной среды: сплошности, непрерывности метрического пространства, введения декартовой системы координат, абсолютности времени. Скорость. Линия тока. Трубка тока. Особые точки. Поток скорости. Градиент, ротор, дивергенция, циркуляция скорости. Теоремы Стокса и Остроградского-Гаусса.

Лекция 16.2. Уравнение неразрывности.

Производные по времени. Уравнение неразрывности в общем случае, для стационарного движения и несжимаемой жидкости. Вихревое и безвихревое движение. Физический смысл вихря. Примеры безвихревого и вихревого движения.

Лекция 16.3. Тензор внутренних напряжений.

Массовые и поверхностные силы. Нормальное и касательное напряжение. Тензор внутренних напряжений.

Лекция 16.4. Уравнение количества движения. Модели сплошной среды.

Уравнение количества движения конечного объема сплошной среды. Основное дифференциальное уравнение движения сплошной среды. Модели сплошной среды. Изотропные и анизотропные среды. Упругая среда и теория упругости. Идеальная жидкость. Давление. Вязкая жидкость, закон Навье-Стокса. Тензор скоростей деформации. Коэффициенты вязкости для изотропной среды. Баротропные среды: несжимаемая, изотермическая, политропическая, совершенный газ.

Лекция 16.5. Решение задач в механике сплошной среды.

Постановка задач в механике сплошной среды. Методы решения задач механики сплошной среды. Критерии подобия аэродинамики: числа Маха, Рейнольдса, Струхалия, Фруда, Эйлера, Ньютона. О численных методах: характеристик, панельном, конечных разностей (разностных), конечных элементов, дискретных вихрей, дискретных особенностей. Упрощение уравнений механики сплошной среды.

Лекция 16.6. Фундаментальные решения механики сплошной среды.

Уравнения Навье-Стокса и Эйлера. Интеграл Бернулли. Теорема Н.Е. Жуковского.

Раздел 17. Приемы упрощения и контроля математических моделей. 4 часа. [1].

Лекция 17.1. Приемы упрощения.

Упрощение моделей. Упрощение уравнений. Прием линеаризации. Метод малого параметра.

Лекция 17.2. Приемы контроля.

Математические свойства методов вычисления. Понятие устойчивости решений и методов. Понятие сходимости. Свойство аппроксимации. Приемы контроля моделей.

2.2. Перечень практических занятий, их объем в часах:

ПР – 1, 2. (Сдвоенное занятие) Ознакомление с современным состоянием в области математического моделирования на примерах Системы математического моделирования динамики полета летательных аппаратов и Системы интерактивного анимационного моделирования. 4 часа (после лекции 6.1).

ПР – 3. Проведение экспертизы и оценка ее результатов. 2 часа (после лекции 11.1).

ПР – 4. Построение интерполяций функции. 2 часа (после лекции 14.2).

2.3. Перечень лабораторных работ (занятий), их объем в часах:

ЛР – 1. Оценка погрешности результатов эксперимента. Оценка степени адекватности результатов эксперимента. 4 часа (после лекции 10.1).

ЛР – 2. Идентификация математической модели. 4 часа (после лекции 14.1).

ЛР – 3, 4. Отработка пропущенных лабораторных работ, консультации по контрольным домашним заданиям.

ЛР – 5. Репетиция экзамена. 4 часа (после лекции ).

Лабораторные работы № 1, 2 и 5 выполняются на ПЭВМ по учебным подгруппам с помощью специального программного обеспечения, разработанного Кублановым М.С. на кафедре АКПЛА МГТУ ГА.

2.4. Перечень контрольных домашних заданий.

КДЗ – 1. Составление математического описания (после ЛР – 2).

КДЗ – 2. Составление элементов математического описания с помощью П-теоремы (после лекции 9.2).

КДЗ – 3. Построение имитационной математической модели с помощью метода Монте-Карло (после лекции 13.1).

## 3. Рекомендуемая литература:

№ п/п	А в т о р	Н а и м е н о в а н и е, и з д а т е л ь с т в о, г о д и з д а н и я
1	2	3
Основная литература:		
1	Кубланов М.С.	Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов: Учебное пособие. Часть I. Третье издание. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 108 с.
2	Кубланов М.С.	Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов: Учебное пособие. Часть II. Третье издание. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 125 с.
3	Кубланов М.С.	Аэродинамика и динамика полета: Учебное пособие. – М., МГТУ ГА, 2000. – 76 с.
Учебно-методическая литература:		
4	Кубланов М.С.	Моделирование систем и процессов: Пособие по изучению дисциплины, выполнению лабораторных работ и домашних заданий. – М., МГТУ ГА, 2005. – 37 с.
Дополнительная литература		
5	Советов Б.Я., Яковлев С.Я.	Моделирование систем: Учебник для вузов. – М.: "Высшая школа", 1998. – 320 с.
6	Ибрагимов И.А. и др.	Моделирование систем: Учебное пособие. – Баку: Азинефтехим, 1989. – 83 с.
7	Дыхненко Л.М. и др.	Основы моделирования сложных систем: Учебное пособие для вузов. – Киев: Вища школа. 1981. – 359 с.
8	Вентцель Е.С.	Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
9	Савченко А.А.	Введение в математическую статистику с применением в гражданской авиации. – Киев: МИИГА, 1975 – 132 с.
10	Савченко А.А.	Методические указания и контрольные задания по специальным разделам теории вероятностей. – М.: МИИГА, 1982. – 44 с.

1	2	3
11	Остославский И.В., Стражева И.В.	Динамика полета. Траектории летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1969. – 500 с.
12	Корн Г., Корн Т.	Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1973. – 832 с.
13	Савченко А.А.	Многомерный статистический анализ для инженеров гражданской авиации. – М.: МИИГА, 1976. – 112 с.
14	Васильев Ф.П.	Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. – 520 с.
15	Годунов С.К., Рябенский В.С.	Разностные схемы (введение в теорию). – М.: Наука, 1973. – 400 с.
16	Добров Г.М. и др.	Экспертные оценки в научно-техническом прогнозировании. – Киев: Наукова Думка, 1974. – 160 с.
17	Вентцель Е.С.	Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1980. – 208 с.
18	Вилисов В.Я. и др.	Экспертные методы в АСУ производством и обработкой ЛА. – М.: МАИ, 1984. – 72 с.
19	Пустыльник Е.И.	Статистические методы анализа и обработки наблюдений. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
20	Хальд А.	Математическая статистика с техническими приложениями. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1956. – 664 с.
21	Шторм Р.	Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
22	Налимов В.В.	Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971. – 208 с.

4. Рекомендуемые программные средства и компьютерные системы обучения и контроля знаний студентов:

– специальное программное обеспечение лабораторного практикума (автор – доцент каф. АКПЛА МГТУ ГА Кубланов М.С.),

– программа GARLINA для приема экзамена (автор – доцент каф. АКПЛА МГТУ ГА Гарбузов В.М.).