

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

Кафедра аэродинамики, конструкции и прочности летательных аппаратов

М.С. Кубланов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по изучению дисциплины**

*для студентов III курса
специальности 130300 и направления 552000
дневного обучения*

Москва - 2009

СОДЕРЖАНИЕ

	с.
1. ВВЕДЕНИЕ.....	3
2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
3. СТРУКТУРА КУРСА.....	4
4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	5
5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	15

1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие содержит общие рекомендации по изучению дисциплины "Моделирование систем и процессов" для студентов III курса специальности 130300 и направления 552000 дневного обучения МГТУ ГА: цели и задачи дисциплины, описание структуры курса, программу дисциплины с методическими указаниями по изучению ее разделов, список рекомендуемой литературы, контрольные вопросы, а также указания к выполнению лабораторных работ и домашних заданий.

В связи с отсутствием учебников по данной дисциплине самостоятельная работа студентов по ее освоению должна проводиться с помощью предлагаемой основной литературы [1, 2], которая содержит необходимый минимум материала по дисциплине. При работе с другой литературой следует учитывать особенности применяемой терминологии и опираться на основную рекомендуемую литературу.

2. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Задачи изучения дисциплины (минимально необходимый комплекс знаний и умений):

– 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;

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

– уметь составлять математическое описание математических моделей, проводить вычислительный эксперимент на детерминированной математической модели и модели случайного процесса;

– иметь опыт составления математического описания для простейших математических моделей объектов авиационной и космической техники, составления плана вычислительного эксперимента, проведения вычислительного эксперимента на простейшей математической модели случайного процесса.

3. СТРУКТУРА КУРСА

На дневном отделении Московского государственного технического университета гражданской авиации дисциплина "Моделирование систем и процессов" для студентов специальности 130300 и направления 552000 обеспечивается в течение шестого семестра 36 лекциями, 4 практическими занятиями, 3 домашними заданиями, 5 лабораторными работами и завершается сдачей экзамена.

Лекции предназначены для первичного ознакомления с материалом в методически правильной постановке и последовательности. И хотя дисциплина насыщена математическими формулами, на лекциях следует стремиться не столько к точному их конспектированию, сколько к пониманию логических связей отдельных элементов курса, разделов, методов. Поэтому рекомендуется составлять конспект лекций на одной (правой) стороне разворота тетради, оставляя другую (левую) для последующей самостоятельной работы. В процессе самостоятельной работы с учебными пособиями и другой литературой можно восполнить пробелы конспекта, дополнить его новым материалом, а также зафиксировать свои собственные мысли. Все это позволит в дальнейшем продуктивно использовать конспект в качестве справочника.

Практические занятия предназначены для углубленного изучения основных приемов дисциплины, отработки некоторых навыков, а также для консультаций по выполнению домашних заданий.

Лабораторные работы предназначены для ознакомления с видами оформления математических моделей на компьютерах, удобными для пользователей (диалоговый режим, выверенность программного обеспечения, предусматривающего все возможные ситуации и ошибочные действия), изучения алгоритма оценки адекватности математических моделей механических систем и процессов реальному поведению оригинала, ознакомления с основами решения задачи идентификации параметров математических моделей и с необходимостью математической строгости применяемых методов. Лабораторные работы выполняются на компьютерах с помощью специального программного обеспечения. Отчет о выполненной лабораторной работе защищается у преподавателя.

Домашние задания предназначены для приобретения навыков разработки математических моделей и "иммунитета" к поверхностному, нестрогому подходу к решаемым практическим проблемам, для изучения структуры детерминированных и стохастических математических моделей, теории подобия и анализа размерностей, метода статистических испытаний. Они выполняются студентами самостоятельно и защищаются у преподавателя после рецензирования.

Экзамен проводится после успешного выполнения всего учебного плана (после защиты всех лабораторных работ и домашних заданий) с помощью контролирующей программы на компьютерах в объеме контрольных вопросов каждого раздела программы дисциплины.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Понятие о моделях и моделировании

Цели научных и инженерных исследований. Место моделирования в них.

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

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] введение, § 1.1.

Центральные вопросы раздела: Понятия оригинала и модели. Понятие моделирования.

Контрольные вопросы:

- 1.1. Модель и оригинал.
- 1.2. Что такое модель?
- 1.3. Что такое моделирование?
- 1.4. Для чего необходим этап постановки задачи в процессе моделирования?
- 1.5. На какие условия следует обратить внимание при выборе модели?

2. 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.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 1.2.

Центральные вопросы раздела: Два аспекта отношения модели к оригиналу.

Контрольные вопросы:

- 2.1. По каким аспектам классифицируются модели?
- 2.2. Что такое логические модели и как они подразделяются?
- 2.3. Что такое материальные модели и как они подразделяются?
- 2.4. Что такое условные модели?
- 2.5. Что такое аналогичные модели?
- 2.6. На чем основаны математические модели?

3. Математические модели и их виды

Математическое описание. Виды математического описания. Полнота математического описания. Отличие математической модели от ее математического описания. Состав математического описания моделей. Виды математических моделей. Понятие детерминированной математической модели. Пример разработки детерминированной математической модели. Понятие имитационной (стохастической) математической модели. Особенности математического описания имитационных математических моделей.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 2.1.

Центральные вопросы раздела: Математическое описание. Состав математического описания и математической модели.

Контрольные вопросы:

- 3.1. Какие бывают виды математического описания?
- 3.2. Что входит в математическое описание?
- 3.3. Что входит в математическую модель помимо математического описания?
- 3.4. Отличие математического описания от математической модели.
- 3.5. Какие бывают виды математических моделей, определяемые их природой?
- 3.6. Особенности детерминированной математической модели.
- 3.7. Особенности имитационной (стохастической) математической модели.

4. Понятие адекватности модели

Вычислительный эксперимент. Достоверность результата. Понятие адекватности математических моделей механических систем и процессов, точность и непротиворечивость. Статистическая основа проверки адекватности. Необходимые данные для проверки адекватности. Факторы, которые необходимо учитывать при проверке адекватности. Пример ошибки при оценке адекватности. Точность и погрешность. Абсолютная и приведенная погрешности. Понятие грубой, случайной и систематической погрешности. Причины возникновения погрешности при математическом моделировании. Оценка погрешности математических операций.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § раздел 4.

Центральные вопросы раздела: Понятие вычислительного эксперимента. Понятие адекватности модели, точность и непротиворечивость. Статистическая основа проверки адекватности.

Контрольные вопросы:

- 4.1. Что такое вычислительный эксперимент?
- 4.2. Может ли вычислительный эксперимент включать в себя неоднократные расчеты?
- 4.3. Что такое достоверность результата вычислительного эксперимента?
- 4.4. Что такое адекватность математической модели?
- 4.5. Что надо сравнивать для оценки адекватности математической модели?
- 4.6. Почему проверку адекватности необходимо проводить с применением математической статистики?
- 4.7. Какой математический аппарат используется для оценки адекватности математической модели?
- 4.8. Что необходимо иметь для оценки адекватности математической модели?
- 4.9. Что надо учитывать при оценке адекватности математической модели?
- 4.10. При решении проблемы адекватности математической модели следует расширять или сужать область ее применимости? Почему?
- 4.11. Чем определяется точность моделирования?
- 4.12. Что такое грубая, случайная и систематическая погрешности?
- 4.13. Причины погрешности математического моделирования.

- 4.14. Из-за чего появляется погрешность математической модели?
 4.15. Как используется и интерпретируется доверительный интервал в качестве критерия точности моделирования?
 4.16. Оценка погрешности основных арифметических действий.

5. Понятие об обратных задачах

Задача идентификации при построении математической модели. Простейший пример задачи идентификации. Методы решения задач идентификации. Понятие об обратных задачах.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 2.3.

Центральные вопросы раздела: Понятие задачи идентификации. Обратные задачи.

Контрольные вопросы:

- 5.1. Что такое обратные задачи?
 5.2. Что такое задача идентификации?
 5.3. Для чего проводится идентификация математической модели?
 5.4. В чем суть задачи идентификации математической модели?
 5.5. Какой метод лежит в основе решения задачи идентификации?

6. Алгоритм научных исследований с помощью математического моделирования

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

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 2.4.

Центральные вопросы раздела: Строгость процесса математического моделирования. Процессы построения математической модели и ее идентификации.

Контрольные вопросы:

- 6.1. Почему применение математического моделирования требует выполнения определенных этапов?
 6.2. В чем состоит цель этапа изучения оригинала?
 6.3. В чем состоит суть этапа феноменологического описания оригинала?
 6.4. Какой этап необходим после составления математического описания?
 6.5. Для чего проводится контрольный вычислительный эксперимент?
 6.6. Что необходимо делать, если получена неудовлетворительная оценка адекватности?
 6.7. Каким этапом завершается процесс построения математической модели?
 6.8. Какой этап предшествует проведению эксперимента на построенной модели?
 6.9. Чем завершается алгоритм научных исследований?

7. Основные принципы математического моделирования механических систем и процессов

Принципы математического моделирования механических систем и процессов.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 2.5.

Центральные вопросы раздела: Принципы адекватности, планирования, конкретизации условий и области применения, опережающей математической строгости и глубины феноменологического описания.

Контрольные вопросы:

- 7.1. Для чего служат принципы математического моделирования?
- 7.2. Принцип адекватности математической модели.
- 7.3. Принцип гибкости, инвариантности и динамичности; чем он обеспечивается?
- 7.4. Принцип состоятельности результатов вычислительного эксперимента; чем он обеспечивается?
- 7.5. Принцип удобства исследователя; чем он обеспечивается?
- 7.6. Чем обеспечивается принцип планирования вычислительного эксперимента?
- 7.7. Суть принципа конкретизации условий и области применения разрабатываемой математической модели.
- 7.8. Принцип опережающей математической строгости и глубины феноменологического описания явления.

8. Проблемы построения математических моделей

Сложные и простые математические модели. Построение математической модели как компромисс между простотой и адекватностью. Проблемы построения математических моделей. "Многокритериальность", "проклятие размерности". Проблема адекватности. Методы математического моделирования. Ранжирование, агрегирование. Теория катастроф. Методы последовательных приближений, проб и ошибок, перебора. Метод проверки гипотез.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 3.1.

Центральные вопросы раздела: Проблемы многокритериальности, большой размерности и адекватности. Основные характеристики методов математического моделирования.

Контрольные вопросы:

- 8.1. Какой компромисс необходим при построении математической модели?
- 8.2. Что понимается под многокритериальностью?
- 8.3. Что понимается под "проклятием размерности"?
- 8.4. С помощью каких методов решается проблема многокритериальности?
- 8.5. С помощью каких методов решается проблема "проклятия размерности"?
- 8.8. Краткая характеристика приема ранжирования.
- 8.9. Краткая характеристика приема агрегирования.
- 8.10. Краткая характеристика теории катастроф.
- 8.11. Общая характеристика метода последовательных приближений.
- 8.12. Метод проб и ошибок.
- 8.13. Метод перебора.
- 8.14. Характеристика метода проверки гипотез.

9. Подобие и анализ размерностей

Подобие. Понятие подобных объектов. Размерные величины, единицы измерения. Анализ размерностей как метод математического моделирования. Системы единиц измерения. Основные и производные единицы измерения. Степенной комплекс. П-теорема. Критерии подобия. Примеры применения П-теоремы для разработки детерминированных математических моделей.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 3.2.

Центральные вопросы раздела: Понятие подобия объектов. Степенной комплекс. Критерий подобия.

Контрольные вопросы:

- 9.1. Понятие подобия объектов.
- 9.2. Какова особенность математических описаний подобных объектов?
- 9.3. Как связаны соответствующие переменные подобных объектов?
- 9.4. Что такое степенной комплекс?
- 9.5. Какое место в описании законов природы занимают степенные комплексы?
- 9.6. Что такое критерий подобия?
- 9.7. Каким образом безразмерный степенной комплекс помогает строить математическое описание?
- 9.8. С помощью уравнений какого вида определяется точный вид безразмерного степенного комплекса?
- 9.9. С точностью до какой величины может быть найдена функциональная зависимость при помощи ПИ-теоремы?
- 9.10. Какой факт лежит в основе уравнений для отыскания показателей степеней в степенном комплексе при помощи ПИ-теоремы?
- 9.11. Что такое размерные и безразмерные величины?
- 9.12. Как используется единица размерности в обозначении размерной величины?
- 9.13. Каковы свойства основных единиц измерения в системах единиц?
- 9.14. Что такое производные единицы измерения?
- 9.15. Основные механические единицы измерения в системе единиц СИ.

10. Статистическая проверка адекватности математических моделей

Оценка адекватности математической модели как задача математической статистики. Статистический аппарат для оценки точности. Доверительные интервалы. Необходимость знания закона распределения рассогласования для построения доверительного интервала. Механизм выполнения требований по точности математической модели. Систематическая погрешность. Проверка критерия значимости гипотезы о равенстве нулю математического ожидания рассогласования. Статистический аппарат для оценки непротиворечивости. Проверка критерия согласия между наблюдаемым и нормальным законами распределения. Алгоритм проверки адекватности математической модели реальному поведению оригинала с помощью статистических критериев.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [2] § 5.7.

Центральные вопросы раздела: Статистические приемы оценок точности и непротиворечивости. Алгоритм проверки адекватности.

Контрольные вопросы:

- 10.1. Может ли математическая модель считаться адекватной поведению оригинала, если рассогласование соответствующих параметров неслучайно?
- 10.2. Какой вывод о рассогласовании соответствующих параметров модели и оригинала можно сделать с помощью проверки статистической гипотезы о нормальном распределении рассогласования?
- 10.3. К какому значению статистического среднего случайной величины рассогласования соответствующих параметров модели и оригинала следует стремиться для улучшения степени адекватности?
- 10.4. Какую погрешность характеризует закон распределения с нулевым математическим ожиданием?
- 10.5. Какую оценку рассогласования соответствующих параметров модели и оригинала дает доверительный интервал для математического ожидания?
- 10.6. Нужно ли знать закон распределения рассогласования для оценки точности математической модели?
- 10.7. Нужно ли знать закон распределения рассогласования для оценки систематической погрешности математической модели?
- 10.8. Что необходимо проверить сначала: точность или непротиворечивость?

11. Метод Монте-Карло

Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) как прием для имитации работы системы. Суть метода Монте-Карло. Случайное число. Единичный жребий и процедуры его реализации. Пример построения имитационной математической модели работы аэродрома. Возможность выявления новых свойств объекта при имитационном моделировании. Особенность математического описания имитационной модели и вопрос об адекватности.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 3.5.

Центральные вопросы раздела: Единичный жребий. Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Особенности имитационных моделей.

Контрольные вопросы:

- 11.1. Для построения каких моделей применяется метод статистических испытаний?
- 11.2. Какова суть метода статистических испытаний?
- 11.3. Что такое единичный жребий?
- 11.4. Какова методика розыгрыша единичного жребия?
- 11.5. С помощью какого приема в имитационных моделях воспроизводится событие?
- 11.6. Позволяет ли имитационное моделирование воспроизводить процесс функционирования оригинала?
- 11.9. Можно ли с помощью имитационной модели выявить свойства оригинала, явно не участвовавшие в построении модели?
- 11.9. Необходима ли оценка адекватности имитационной модели и почему?

11.10. Из чего состоит математическое описание имитационных моделей?

12. Вычислительные методы алгебры

Системы линейных алгебраических уравнений – методы исключения. Системы нелинейных алгебраических уравнений – итерационные методы. Понятие о рекуррентных формулах и процедуре отделения корней. Методы: секущих (хорд), деления отрезка пополам, золотого сечения, касательных (Ньютона). Методы интерполяции (кусочно-постоянная, линейная, квадратичная, полиномиальная, сплайновая, пример). Аппроксимация (сглаживание).

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 4.1.

Центральные вопросы раздела: Существование и единственность решения уравнений итерационными методами. Интерполяция. Аппроксимация.

Контрольные вопросы:

- 12.1. Для решения каких задач применяются итерационные методы?
- 12.2. Общая характеристика итерационных методов.
- 12.3. В каких методах применяется пошаговое уточнение значения искомого параметра?
- 12.4. Что такое рекуррентная формула для решения нелинейного уравнения?
- 12.5. Для чего служат условия сходимости итерационного метода?
- 12.6. Каким свойствам должна удовлетворять зависимость на исходном интервале для применимости методов деления отрезка пополам, секущих, золотого сечения?
- 12.7. Характеристика метода секущих.
- 12.8. Характеристика метода деления отрезка пополам.
- 12.9. Характеристика метода золотого сечения.
- 12.10. Характеристика метода касательных (Ньютона).
- 12.11. Для чего служат методы интерполяции функций?
- 12.12. Характеристика линейной интерполяции.
- 12.13. Характеристика полиномиальной интерполяции.
- 12.14. Характеристика сплайновой интерполяции.
- 12.15. Общий принцип методов аппроксимации.
- 12.16. В чем принципиальное различие между понятиями интерполяции и аппроксимации?

13. Вычислительные методы решения дифференциальных уравнений

Разностные схемы. Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений (решения задачи Коши) – разностные методы: Эйлера, Адамса, "прогноз-коррекция", Рунге-Кутта. Порядок разностных методов. Понятие о возможности контроля погрешности и изменения шага интегрирования. Сравнение методов численного интегрирования дифференциальных уравнений.

Подходы к решению задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений второго и более высоких порядков.

Краевые задачи. Методы сеток – метод прогонки. Пример. Метод стрельбы (пристрелки).

Особенности разностных методов интегрирования дифференциальных уравнений с частными производными.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 4.2.

Центральные вопросы раздела: Разностные схемы. Понятие о возможности контроля погрешности и изменения шага интегрирования.

Контрольные вопросы:

- 13.1. На чем основаны разностные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений?
- 13.2. Какой вид дифференциальных уравнений решается методом Эйлера?
- 13.3. Чем определяется порядок разностных методов?
- 13.4. Основная идея метода Эйлера для решения задачи Коши.
- 13.5. Характеристика методов Рунге-Кутты.
- 13.6. Характеристика метода Адамса.
- 13.7. Характеристика методов "прогноза-коррекции".
- 13.8. Какие методы допускают оценку погрешности на шаге интегрирования?
- 13.9. Какие методы допускают изменение шага интегрирования в процессе вычислений?
- 13.10. С какой целью применяется изменение шага интегрирования в процессе вычислений?
- 13.11. Что такое краевая задача?
- 13.12. Какие методы применяются для решения краевых задач?
- 13.13. Краткая характеристика метода прогонки.
- 13.14. Краткая характеристика метода стрельбы.
- 13.15. На чем основываются методы интегрирования дифференциальных уравнений с частными производными?

14. Математические методы оптимизации

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

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

Задача нелинейного программирования. Классический подход. Пример. 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.

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

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

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] § 4.5.

Центральные вопросы раздела: Критерий оптимальности. Задачи линейного и нелинейного программирования. Задачи вариационного исчисления и оптимального управления.

Контрольные вопросы:

- 14.1. Какие элементы могут входить в формулировку задачи оптимизации?
- 14.2. Для чего служит критерий оптимальности в задаче оптимизации?
- 14.3. Какому условию удовлетворяет оптимальное управление?
- 14.4. Каковы уравнения связей, ограничения и критерий оптимальности в задаче линейного программирования?
- 14.5. В какой части допустимой области лежит решение задачи линейного программирования?
- 14.6. Каким методом решаются задачи линейного программирования?
- 14.7. Характеристика симплекс-метода.
- 14.8. Каковы должны быть уравнения связей, ограничения и критерий оптимальности для того, чтобы задача оптимизации называлась задачей нелинейного программирования?
- 14.9. Какими методами решаются задачи нелинейного программирования?
- 14.10. Характеристика метода деления отрезка пополам.
- 14.11. Характеристика метода золотого сечения.
- 14.12. Краткая характеристика градиентных методов.
- 14.13. В каких частях допустимой области может располагаться решение задачи нелинейного программирования?
- 14.14. Каковы особенности задачи вариационного исчисления?
- 14.15. На каких математических условиях основаны "непрямые" методы решения задач вариационного исчисления?
- 14.16. На каком приеме основаны "прямые" методы решения задач вариационного исчисления?
- 14.17. Каковы особенности задачи оптимального управления?
- 14.18. Какими методами решаются задачи оптимального управления?
- 14.19. На каких математических условиях основывается решение задач оптимального управления с помощью принципа максимума?
- 14.20. На каких математических условиях основывается решение задач оптимального управления методом динамического программирования?

15. Модели механики сплошной среды

Понятие механики сплошной среды. Гипотезы математического моделирования сплошной среды: сплошности, непрерывности метрического пространства, введения декартовой системы координат, абсолютности времени.

Стационарное и нестационарное движение. Траектория частицы. Линия тока. Поток скорости. Вихревое и безвихревое движение. Физический смысл вихря. Примеры безвихревого и вихревого движения.

Массовые и поверхностные силы. Нормальное и касательное напряжение. Тензор внутренних напряжений. Идеальная жидкость. Давление. Упругая среда и теория упругости. Вязкая жидкость, закон Навье-Стокса. Изотропные и анизотропные среды. Коэффициенты вязкости для изотропной среды.

Баротропные жидкости: несжимаемая, изотермическая, политропическая, совершенный газ.

Взаимодействие сплошной среды с обтекаемыми телами.

Критерии подобия аэродинамики: числа Маха, Рейнольдса, Струхаля, Фруда, Эйлера, Ньютона. О трудностях моделирования задач аэродинамики.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [3] §§ 1.1, 1.2, 1.4, 2.1, 2.3, 3.5.

Центральные вопросы раздела: Гипотезы механики сплошной среды. Линия тока. Вихревое и безвихревое движение. Тензор внутренних напряжений. Идеальная и вязкая жидкости. Давление. Баротропия. Аэродинамические критерии подобия.

Контрольные вопросы:

- 15.1. Что такое механика сплошной среды?
- 15.2. Основы статистического и феноменологического подходов к описанию движения среды.
- 15.3. Основные гипотезы механики сплошной среды.
- 15.4. Способ задания скорости. Установившееся и неустановившееся движения.
- 15.5. Траектория частиц, линия тока.
- 15.6. Основное свойство линий тока.
- 15.7. Понятие циркуляции вектора скорости.
- 15.8. Физическая суть вихря. Безвихревое и вихревое движения.
- 15.9. Виды сил и моментов в механике сплошной среды.
- 15.10. Характеристика массовых сил.
- 15.11. Характеристика поверхностных сил.
- 15.12. Внутренние поверхностные силы, нормальное и касательное напряжения, тензор внутренних напряжений.
- 15.13. Идеальная жидкость, давление.
- 15.14. Вязкая жидкость, закон Навье-Стокса.
- 15.15. Изотропные и анизотропные среды.
- 15.16. Коэффициенты вязкости.
- 15.17. Баротропные жидкости: несжимаемая, изотермический процесс, политропический процесс, совершенный газ.
- 15.18. Чем определяется взаимодействие сплошной среды с обтекаемыми телами?
- 15.19. Критерии подобия аэродинамики.

16. Приемы упрощения математических моделей. Математические свойства методов вычисления. Приемы контроля математических моделей

Упрощение феноменологического описания: установившееся движение, плоскопараллельное движение, осесимметрическое движение, автомодельное движение. Упрощение уравнений: переход к безразмерным величинам, приближенная замена переменных величин постоянными значениями, пренебрежение малыми членами. Пример. Линеаризация. Пример. Метод малого параметра (метод возмущений).

Методы вычисления как замена исходной задачи на упрощенную. Свойства методов вычисления. Устойчивость. Пример. Сходимость. Аппроксимация. Связь устойчивости и аппроксимации со сходимостью.

Контроль размерностей. Контроль основных законов природы. Контроль качественного поведения зависимостей. Контроль математической замкнутости. Проверка на контрольных примерах.

Методические указания к изучению раздела

Литература: [1] §§ 4.3, 4.4, 4.6.

Центральные вопросы раздела: Методы упрощения моделей. Методы упрощения уравнений. Свойства методов вычисления.

Контрольные вопросы:

- 16.1. Какие элементы математических моделей подвергаются упрощению?
- 16.2. Приемы упрощения феноменологического описания.
- 16.3. Характеристика установившегося движения.
- 16.4. Характеристика плоскопараллельного движения
- 16.5. Характеристика осесимметрического движения
- 16.6. Характеристика автомоделного движения.
- 16.7. Приемы упрощения уравнений.
- 16.8. Характеристика приема линеаризации.
- 16.9. Характеристика метода малого параметра (метода возмущений).
- 16.10. Для чего от методов вычисления требуют определенных свойств?
- 16.11. Характеристика свойства устойчивости решения.
- 16.12. Характеристика свойства устойчивости метода вычисления.
- 16.13. Характеристика свойства сходимости метода вычисления.
- 16.14. Характеристика свойства аппроксимации метода вычисления.
- 16.15. Связь устойчивости и аппроксимации со сходимостью.

5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

	А в т о р	Наименование, издательство, год издания
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.

1	2	3
Учебно-методическая литература:		
4	Кубланов М.С.	Моделирование систем и процессов: Пособие по изучению дисциплины, выполнению лабораторных работ и домашних заданий для студентов специальности 130300 и направления 552000 дневного обучения. – М.: МГТУ ГА, 2005. – 40 с.
Дополнительная литература		
5	Березин И.С., Жидков Н.П.	Методы вычислений. Том 1. – М.: Наука, 1966. – 632 с.
6	Васильев Ф.П.	Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. – 520 с.
7	Вентцель Е.С.	Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1980. – 208 с.
8	Вентцель Е.С.	Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
9	Годунов С.К., Рябенский В.С.	Разностные схемы (введение в теорию). – М.: Наука, 1973. – 400 с.
10	Дыхненко Л.М. и др.	Основы моделирования сложных систем: Учебное пособие для вузов. – Киев: Вища школа. 1981. – 359 с.
11	Ибрагимов И.А. и др.	Моделирование систем: Учебное пособие. – Баку: Азинефтехим, 1989. – 83 с.
12	Корн Г., Корн Т.	Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука, 1973. – 832 с.
13	Лебедев А.Н.	Моделирование в научно-технических исследованиях. М.: Радио и связь, 1989. – 224с.
14	Мышкис А.Д.	Элементы теории математических моделей. – М.: Физматгиз, 1994. – 192 с.
15	Неймарк Ю.И., Коган Н.Я., Савелов В.П.	Динамические модели теории управления. – М.: Наука, 1995. – 400 с.
16	Остославский И.В., Стражева И.В.	Динамика полета. Траектории летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1969. – 500 с.
17	Савченко А.А.	Введение в математическую статистику с применением в гражданской авиации. – Киев: МИИГА, 1975 – 132 с.
18	Савченко А.А.	Многомерный статистический анализ для инженеров гражданской авиации. – М.: МИИГА, 1976. – 112 с.
19	Советов Б.Я., Яковлев С.Я.	Моделирование систем: Учебник для вузов. – М.: "Высшая школа", 1998. – 320 с.