Подписано электронной подписью:
Вержицкий Данил Григорьевич
Должность: Директор КГПИ ФГБОУ ВО «КемГУ»
Дата и время: 2024-02-21 00:00:00
471086fad29a3b30e244c728abc3661ab35c9d50210dcf0e75e03a5b6fdf6436

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кемеровский государственный университет»
Новокузнецкий институт (филиал)

Факультет информатики, математики и экономики
Кафедра математики, физики и математического моделирования

Е.А. Вячкина, Е. С. Вячкин

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Методические указания к выполнению практической работы по дисциплине для обучающихся очной формы по направлениям подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, профиль «Математическое моделирование и информационные технологии» 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем, профиль «Программное и математическое обеспечение информационных технологий»

Новокузнецк

2020

Вячкина Е. А., Вячкин Е. С.

Вычислительный эксперимент: методические указания к выполнению практической работы по дисциплине для обучающихся очной формы по направлениям подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика, профиль «Математическое моделирование и информационные технологии», 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем, профиль «Программное и математическое обеспечение информационных технологий» / Е.А. Вячкина, Е. С. Вячкин; Новокузнецкий ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та. – Новокузнецк : НФИ КемГУ, 2020 – 17 с.

Методические указания содержат задания на практическую работу по темам пяти разделов дисциплины, вопросы к зачету и список рекомендуемой литературы.

Методические указания предназначены для студентов очной формы обучения направлений 01.03.02 Прикладная математика и информатика, профиль «Математическое моделирование и информационные технологии» и 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем, профиль «Программное и математическое обеспечение информационных технологий»

Рекомендовано на заседании
кафедры математики, физики и математического моделирования
Протокол № 3 от 22.10.2020

Заведующий каф. МФММ

 / Е.В.Решетникова

© Вячкина Елена Александровна
© Вячкин Евгений Сергеевич
© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кемеровский государственный университет»,
Новокузнецкий институт (филиал), 2020

Текст представлен в авторской редакции

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..... 4
Раздел 1. Введение. Основные понятия вычислительного эксперимента 6
Практическая работа 1.1-1.2. Пробное построение вычислительного эксперимента 6
Раздел 2. Методы построения математических моделей для вычислительного эксперимента 7
Практическая работа 2.1-2.3. Полуэмпирические модели 7
Практическая работа 2.4-2.6. П-теорема 7
Практическая работа 2.7 – 2.9. Критерии подобия 8
Раздел 3. Планирование вычислительного эксперимента 9
Практическая работа 3.1-3.2. Полный факторный эксперимент 9
Практическая работа 3.3-3.4. Полуреплика 9
Практическая работа 3.5. Оценка коэффициентов влияния.....9
Практическая работа 3.6. Планы для квадратичных моделей 10
Раздел 4. Вычислительный эксперимент на многоуровневых моделях.. 11
Практическая работа 4.1-4.2. Построение многоуровневых моделей.....11
Практическая работа 4.3-4.4. Интерпретация результатов вычислительного эксперимента по плану 1 порядка.....11
Практическая работа 4.5. Интерпретация результатов вычислительного эксперимента по дробному плану 1 порядка 11
Практическая работа 4.6. Интерпретация результатов вычислительного эксперимента по плану 2 порядка 11
Раздел 5. Пакеты прикладных программ вычислительного эксперимента..... 13
Практическая работа 5.1-5.3. Универсальные пакеты программ постпроцессорной обработки 13
Практическая работа 5.4-5.6. Специализированные пакеты программ 13
ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ/ЭКЗАМЕНУ 14
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА 15

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания адресованы студентам очной формы обучения, получающим квалификацию бакалавр по направлениям подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика, профиль «Математическое моделирование и информационные технологии» и 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование информационных систем, профиль «Программное и математическое обеспечение информационных технологий» и направлены на оказание помощи студентам в обучении дисциплине «Вычислительный эксперимент».

На занятиях постоянно происходит обращение к основным понятиям: математическая модель, классификация моделей, структурные параметры, параметры состояния, параметры отклика. Эти понятия должны быть прочно усвоены при изучении первого раздела дисциплины.

Практическое изучение темы «Теория размерностей и подобия» необходимо для понимания способов построения полуэмпирических и теоретических моделей, используемых в вычислительном эксперименте. Этот раздел курса опирается на ранее изученный курс физики. Необходимо при подготовке к занятию повторить единицы измерения физических величин и взаимосвязь основных и производных единиц. Вопросы, изучаемые в настоящем курсе (П-теорема, приведение к безразмерному виду), необходимы при подготовке к выполнению курсовой работы.

Тема «Планирование вычислительного эксперимента» в меньшей степени опирается на ранее изученные дисциплины и может изучаться независимо. Материал этой темы непосредственно используется при выполнении курсовой работы для подготовки и проведения вычислительного эксперимента. Студенту необходимо выполнить практические задания по планированию вычислительных экспериментов, направленных на построение регрессионных зависимостей. Наиболее важно научиться строить план полного факторного эксперимента, который является основой для построения более экономичных планов.

При изучении темы «Интерпретация результатов вычислительного эксперимента» необходимо усвоить понятие многоуровневой модели. Основная идея интерпретации – представить в компактном и наглядном виде зависимости отклика от факторов, полученные при вычислениях. При подготовке к выполнению практических занятий следует вспомнить особенности основной модели верхнего уровня,

использованной в численных расчетах, и выяснить способы проверки её адекватности моделируемому реальному объекту. Аппроксимирующие зависимости составляют математическую модель нижнего уровня, которая подлежит проверке на её адекватность основной модели. По результатам параметрических исследований чувствительности основной модели к вариации факторов необходимо практически определить коэффициенты чувствительности и построить поверхности отклика. Важной частью практической интерпретации результатов эксперимента является формулировка выводов о поведении моделируемого объекта и установление границ применимости этих выводов.

Изучение темы «Пакеты прикладных программ для вычислительного эксперимента» завершает курс. Предварительно студенты в компьютерном практикуме знакомятся с пользовательским интерфейсом используемых пакетов программ. Задачей практических занятий является систематизация сведений об особенностях изучаемых пакетов программ и возможностях их применения к частным задачам вычислительного эксперимента. Практические занятия по этой теме целесообразно проводить в форме семинара.

В методические рекомендации включены задачи, решаемые студентами во время практических занятий, вопросы к зачету/экзамену и список рекомендуемой литературы.

Раздел 1. Введение. Основные понятия вычислительного эксперимента

Практическая работа 1.1-1.2. Пробное построение вычислительного эксперимента

Вопросы для подготовки.

1. Понятие математической модели процесса или явления.
2. Понятие вычислительного эксперимента.
3. Область использования вычислительного эксперимента.
4. Основные этапы вычислительного эксперимента.
5. Задачи планирования вычислительного эксперимента.
6. Технические средства проведения вычислительного эксперимента.

Задачи для решения.

1. Для анализа загрязнения среды проектируемой котельной необходимо построить математическую модель, учитывающую расположение источника выбросов на местности, производительность котельной, химический состав топлива, условия его сжигания, условия очистки и условия отвода газов посредством трубы. Выяснить, какие физические и химические процессы должна описывать математическая модель. Какие физические и химические теории могут быть положены в основу модели? Какие определяющие соотношения следует установить экспериментально? Укажите возможные постановки задач вычислительного эксперимента применительно к заданной ситуации.

2. Проектируемое здание должно эксплуатироваться в условиях холодного климата. Какие факторы наиболее существенно влияют на потребную тепловую мощность отопительной системы? Какие теплофизические процессы должна описывать математическая модель? Какие физические теории могут быть положены в основу модели? Какие определяющие соотношения должны быть установлены экспериментально? Укажите возможные постановки задач вычислительного эксперимента при проектировании здания и отопительной системы.

3. Сооружение подвержено угрозе пожара. Какие процессы необходимо моделировать для оценки его огнестойкости? Какие физические и химические теории могут быть положены в основу математической модели? Какие факторы следует оценить экспериментально?

Раздел 2. Методы построения математических моделей для вычислительного эксперимента

Практическая работа 2.1-2.3. Полуэмпирические модели

Вопросы для подготовки.

1. Какие модели называются теоретическими, эмпирическими, полуэмпирическими?
2. Какие величины, входящие в математическую модель, являются факторами и откликами?
3. Что называется параметрами состояния, параметрами воздействий, структурными параметрами модели?

Задачи для решения.

1. Теплопередача через плоскую стенку описывается линейной одномерной задачей теории теплопроводности с граничными условиями третьего рода. Построить полуэмпирическую модель теплопередачи через стенку с застекленными проемами. Выделить структурные параметры, существенно влияющие на тепловую мощность, передаваемую через стенку.

2. Напряженно-деформированное состояние упругой балки постоянного сечения описывается линейным дифференциальным уравнением изгиба. Построить полуэмпирическую модель изгиба упруго-пластической балки постоянного сечения при тех же нагрузках.

3. Равновесный состав реагирующей газовой смеси кислорода, оксида углерода и диоксида углерода при заданной температуре определяется скоростями реакций окисления оксида и распада диоксида углерода и описывается уравнениями химической кинетики, точное решение которых известно. Построить полуэмпирическую модель неравновесной реакции, учитывающую конечность времени нахождения реагирующей смеси в реакторе.

Практическая работа 2.4-2.6. П-теорема

Вопросы для подготовки.

1. Какие единицы измерения физических величин называются основными, производными?
2. Что называется безразмерным комплексом?
3. Сформулируйте П-теорему.

Задачи для решения.

1. Пользуясь методом анализа размерностей, запишите степенную зависимость периода колебаний диска, закрепленного на упругом стержне, от модуля упругости стержня, плотности и размеров стержня и диска.

2. В условиях предыдущей задачи диск имеет эллиптическую форму в плане. Какие безразмерные комплексы определяют частоту колебаний?

3. Известно, что скорость фильтрации воды в грунте пропорциональна градиенту её давления. Какие безразмерные комплексы определяют объем жидкости, который в единицу времени просачивается через стенки скважины заданной глубины и заданного диаметра, если уровень грунтовых вод задан?

4. Точечный источник выбросов (труба) имеет известную высоту и выбрасывает в атмосферу известную массу газов в единицу времени. Скорость и направление ветра заданы. Распространение газов в воздухе описывается уравнением диффузии. Найдите безразмерные комплексы, определяющие концентрацию выбросов в зависимости от положения точки наблюдений.

Практическая работа 2.7 – 2.9. Критерии подобия

Вопросы для подготовки.

1. Какие физические процессы называются подобными?
2. Что такое частичное подобие?
3. Дайте определение автомодельности.
4. Как взаимосвязаны формальные и структурные модели в многоуровневом описании процесса?

Задачи для решения.

1. Цилиндрическая заготовка помещена в печь с заданной температурой. Найдите критерии подобия процесса нагрева. Сколько критериев определяет полное подобие?

2. В условиях предыдущей задачи заготовка имеет форму вала, составленного из цилиндрических участков различного диаметра. В каком случае поля температур окажутся подобными? На основе аналитического решения задачи 1 запишите формальную модель температурного поля для вала с двумя цилиндрическими участками.

3. В задаче о фильтрации жидкости в скважину грунт состоит из двух слоев с различными коэффициентами проницаемости. Как построить формальную модель, если известно точное решение задачи для однородного грунта? Какие вычислительные эксперименты необходимо поставить для определения поправочных коэффициентов?

4. Какие процессы другого физического содержания могут быть описаны моделью, построенной в предыдущей задаче?

Раздел 3. Планирование вычислительного эксперимента

Практическая работа 3.1-3.2. Полный факторный эксперимент

Вопросы для подготовки.

1. Что такое план эксперимента?
2. Насыщенные и ненасыщенные планы факторных экспериментов.
3. Вид аппроксимирующей зависимости для факторного эксперимента 1 порядка.
4. План-матрица полного факторного эксперимента.

Задачи для решения.

1. Построить план-матрицы полного факторного эксперимента для моделей, полученных на занятии 4.

2. Основываясь на аналитическом решении, проведите факторный анализ фильтрации воды в скважину в зависимости от двух факторов: высоты уровня грунтовых вод и коэффициента проницаемости грунта. За отклик принять уровень воды в скважине через заданное время после начала процесса.

Практическая работа 3.3-3.4. Полуреплика

Вопросы для подготовки.

1. Что такое дробный факторный эксперимент? В каких случаях он может быть поставлен?
2. Основная и расширенная план-матрица для полуреплики. Число экспериментов для полуреплики.
3. Вид аппроксимирующей зависимости для полуреплики на основе плана 1 порядка.

Задачи для решения.

1. Определить возможность построения полуреплик для двухфакторных моделей, полученных на занятии 4. Оценить взаимодействие факторов.

2. Найти функцию отклика для модели изгиба консоли грузом, приложенным на её середине. За параметр состояния принять максимальный прогиб, варьируемые структурные параметры – масса груза, длина консоли, модуль упругости и момент инерции сечения. Задачу привести к безразмерному виду.

Практическая работа 3.5. Оценка коэффициентов влияния

Вопросы для подготовки.

1. Что такое чувствительность модели?
2. Как оценивается коэффициент влияния по результатам факторного эксперимента?

Задачи для решения.

Для моделей, построенных на занятиях 4-5, определить коэффициенты чувствительности отклика к вариации факторов.

Практическая работа 3.6. Планы для квадратичных моделей

Вопросы для подготовки.

1. Что такое план второго порядка?
2. Какое число опытов необходимо поставить для построения квадратичной модели?
3. Как строятся дробные планы второго порядка?

Задачи для решения.

1. Для задач предыдущих работ построить планы полного факторного эксперимента 2 порядка.

2. Оценить эффекты взаимодействий и построить дробные планы второго порядка.

Раздел 4. Вычислительный эксперимент на многоуровневых моделях

Практическая работа 4.1-4.2. Построение многоуровневых моделей

Вопросы для подготовки.

1. Какие модели называются многоуровневыми?
2. Как оценивается адекватность регрессионной модели?

Задачи для решения.

1. Балка из бетона со стальным сердечником, нагруженная распределенной по длине нагрузкой, подвергается огневому воздействию. Составить полуэмпирическую модель для оценки огнестойкости, считая интенсивность огневого воздействия постоянной, а материал – упруго-пластическим.

2. Составить конечно-элементную модель верхнего уровня для программы НСНЖ. (Расчеты проводятся во время компьютерного практикума).

3. Составить план полного факторного вычислительного эксперимента.

Практическая работа 4.3-4.4. Интерпретация результатов вычислительного эксперимента по плану 1 порядка

Задачи для решения.

1. По результатам вычислительного эксперимента на модели занятия 9 построить поверхность отклика в зависимости от заданных факторов.

2. Оценить адекватность полуэмпирической линейной модели.

3. Оценить эффекты взаимодействий и построить полуреплику.

Практическая работа 4.5. Интерпретация результатов вычислительного эксперимента по дробному плану 1 порядка

Задачи для решения.

1. По результатам вычислительного эксперимента по плану практической работы 4.4 (полуреплика) построить поверхность отклика в зависимости от заданных факторов.

2. Оценить адекватность полуэмпирической трехфакторной модели.

3. Построить план полного двухфакторного эксперимента 2 порядка.

Практическая работа 4.6. Интерпретация результатов вычислительного эксперимента по плану 2 порядка

Задачи для решения.

1. По результатам вычислительного эксперимента по плану практической работы 4.4 построить поверхность отклика в зависимости от заданных факторов.

2. Оценить адекватность полуэмпирической квадратичной модели.

3. Дать содержательную интерпретацию результатов вычислительного эксперимента.

Раздел 5. Пакеты прикладных программ вычислительного эксперимента

Практическая работа 5.1-5.3. Универсальные пакеты программ постпроцессорной обработки

Вопросы для подготовки.

1. Основные возможности пакета программ Surfer.
2. Основные возможности пакета программ Grapher.
3. Основные возможности пакета программ Leonardo.

Занятие проводится в форме семинара по изучению работы с программными продуктами

Практическая работа 5.4-5.6. Специализированные пакеты программ

Вопросы для подготовки.

1. Основные возможности пакета программ НСНЖ.
2. Основные возможности пакета программ Алгозит.
3. Основные возможности пакета программ Ansys.
   Занятие проводится в форме семинара по изучению работы с программными продуктами

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ/ЭКЗАМЕНУ

1. Математическая модель типа «чёрный ящик». Пространство состояний, воздействия, отклик.
2. Структурные модели. Полуэмпирические и эмпирические модели, области их применения.
3. Аналитические методы.
4. Теория размерностей и подобия. Приведение математических моделей к безразмерному виду.
5. П-теорема, использование для построения полуэмпирических моделей.
6. Особенности вычислительного компьютерного эксперимента по сравнению с натурным экспериментом.
7. Основные этапы вычислительного эксперимента.
8. Постановка задачи планирования вычислительного эксперимента. Математическая модель. Функция отклика.
9. Полный факторный эксперимент типа 2^k. План-матрица.
10. Дробный факторный эксперимент. Полуреплика 2^{k-1}.
11. Графическая интерпретация результатов факторного вычислительного эксперимента.
12. Оценка адекватности полиномиальной модели по результатам вычислительного эксперимента.
13. Ортогональные планы второго порядка. Центральный композиционный ортогональный план.
14. Симплексно-решетчатое планирование вычислительного эксперимента.
15. Вычислительный эксперимент в задачах оптимизации без ограничений. Восхождение по градиенту.
16. Оценка коэффициентов чувствительности.
17. Параметрические исследования. Метод малого параметра.
18. Параметрическое исследование при конечной вариации параметра в случае линейной зависимости матрицы системы от параметра.
19. Параметрическое исследование при конечной вариации параметра в случае полиномиальной зависимости матрицы системы от параметра.
20. Типовая структура пакета программ математического моделирования.
21. Постпроцессорные средства в вычислительном эксперименте. Задачи постпроцессорной обработки данных.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Афанасьева, Н. Ю. Вычислительные и экспериментальные методы научного эксперимента [Текст] : учебное пособие. – Москва :Кнорус, 2013. – 330 с. – Гриф ГОУ ВПО «Московский гос. Технический университет им Н. Э. Баумана» «Рекомендовано».

2. Костин, В.Н. Теория эксперимента [Электронный ресурс]: Учебное пособие. / В.Н. Костин, В.В. Паничев – Оренбург: ОГУ, 2013. – 209 с. http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=259219

Дополнительная литература

1. Введение в математическое моделирование [Текст] : учебное пособие / под ред. П. В. Трусова. - Москва : Логос [и др.], 2007. - 440 с. - (Новая Университетская Библиотека). - Гриф МО "Допущено".

2. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем [Электронный ресурс]: учебник / В. П. Тарасик. - Электрон. текстовые дан.- Москва:НИЦ ИНФРА-М, 2016. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=549747

3. Рябенький, В. С. Введение в вычислительную математику [Электронный ресурс] / В. С. Рябенький. - 3-е изд., испр. и доп. - Электрон. текстовые дан. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=544692

4. Партыка, Т. Л. Вычислительная техника [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Партыка Т.Л., Попов И.И., - 3-е изд., испр. и доп. - Электрон. текстовые дан.- Москва:Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=546274

5. Назаров, С. В. Операционные системы специализированных вычислительных комплексов: Теория построения и системного проектирования [Электронный ресурс] / С. В. Назаров. - Электрон. текстовые дан.- Москва: Машиностроение, 1989. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=374192

6. Назаров, С. В. Измерительные средства и оптимизация вычислительных систем [Электронный ресурс] / С. В. Назаров. - Электрон. текстовые дан. - Москва: Радио и связь, 1990. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=404040

7. Федотова, Е. Л. Информационные технологии в науке и образовании [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Е.Л. Федотова, А.А. Федотов. - Электрон. текстовые дан.- Москва: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=411182

8. Назаров, С. В. Локальные вычислительные сети [Электронный ресурс] : Справочник. В 3-х кн. Кн. 2: Аппаратные и программные средства / С. В.

Назаров, В. П. Поляков, А. В. Луговец и др.; Под ред. С. В. Назарова. - Электрон. текстовые дан.- Москва: Финансы и статистика, 1994. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=390762

9. Кузнецов, А. С. Теория вычислительных процессов [Электронный ресурс] /КузнецовА.С., ЦаревР.Ю., КнязьковА.Н. - Электрон. текстовые дан.- Краснояр.: СФУ, 2015. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=549796

10. Бесшапошникова, В. И. Планирование и организация эксперимента в легкой промышленности [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. И. Бесшапошникова. - Электрон. текстовые дан.- Москва:НИЦ ИНФРА-М, 2017. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=543099