

Министерство образования и науки Украины
Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

С. Ф. Лушпенко

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Конспект лекций

Харьков – 2014

УДК 536.24:519.63
ББК 22.193я73:22.36
Л 87

Рецензенты:

Соловей В. В. – профессор кафедры нетрадиционных технологий и экологии физико-энергетического факультета ХНУ имени В. Н. Каразина, доктор технических наук;

Сафонов Н. А. – научный сотрудник Института проблем машиностроения имени А. Н. Подгорного НАН Украины, кандидат физико-математических наук.

*Утверждено к печати решением Научно-методического совета
Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина
(протокол № 4 от 29.05.2013 г.)*

Лушпенко С. Ф.

Л 87 Математическое моделирование теплофизических процессов : конспект лекций / С. Ф. Лушпенко. – Х. : ХНУ имени В. Н. Каразина, 2014. – 148 с.

Целью издания является ознакомление студентов с численными методами математического моделирования теплофизических процессов и применением этих методов для идентификации и оптимизации параметров таких процессов.

Рекомендовано для подготовки бакалавров направления 6.040204 – прикладная физика.

**УДК 536.24:519.63
ББК 22.193я73:22.36**

© Харьковский национальный университет
имени В. Н. Каразина, 2014

© Лушпенко С. Ф., 2014

© Дончик И. Н., макет обложки, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Терминология. Математическая модель явления теплопроводности.....	6
1.1. Вводные замечания.....	6
1.2. Терминология.....	6
1.3. Математическая модель явления теплопроводности.....	8
1.4. Преобразование математической модели.....	9
Лекция 2. Общая постановка краевой задачи теплофизики. Начальные и граничные условия.....	10
2.1. Система уравнений математической модели явления теплопроводности.....	10
2.2. Прямое преобразование математической модели теплопроводности.....	12
Лекция 3. Обратное преобразование математической модели теплопроводности.....	14
3.1. Методика обратного преобразования.....	14
3.2. Примеры использования преобразования Кирхгофа.....	16
Лекция 4. Дискретизация математической модели.....	20
Лекция 5. Программные средства моделирования тепловых процессов.....	24
5.1. Вводные замечания.....	24
5.2. Конечно-разностные алгоритмы.....	24
5.3. Метод конечных объемов.....	25
5.4. Комплекс программ PHOENICS.....	27
5.5. Метод граничных элементов.....	28
5.6. Программная реализация метода конечных элементов.....	30
Лекция 6. Решение двумерной прямой задачи теплопроводности с учетом анизотропии тепловых свойств.....	32
6.1. Методика и результаты решения задачи.....	32
6.2. Выводы по результатам моделирования.....	35
Лекция 7. Комплекс программ SBORKA.....	36
Лекция 8. Моделирование тепловых процессов при шлифовании.....	43
8.1. Вводные замечания.....	43
8.2. Двухмерное моделирование тепловых явлений при периферическом шлифовании.....	45
8.3. Трехмерное моделирование температурного поля при торцевом шлифовании.....	47
8.4. Расчет температурного поля шлифуемого двухслойного материала.....	50

Содержание

Лекция 9. Прямые и обратные задачи теплопроводности.....	51
9.1. Причинно-следственные связи.....	51
9.2. Классификация обратных задач.....	51
9.3. Задачи идентификации, оптимизации и управления.....	52
Лекция 10. Решение ОЗТ при изучении теплопроводности керамических материалов.....	53
Лекция 11. Решение ОЗТ при определении ТФХ аморфно-металлических материалов.....	59
Лекция 12. Решение ОЗТ при определении ТФХ сверхтвердых материалов.....	66
Лекция 13. Виды постановок ОЗТ. Корректность обратных задач. Единственность решения.....	71
13.1. Виды постановок ОЗТ.....	71
13.2. Корректность.....	72
13.3. Единственность.....	73
Лекция 14. Устойчивость и принципы регуляризации решений ОЗТ. Метод регуляризации Тихонова.....	75
14.1. Устойчивость и неустойчивость решения обратных задач.....	75
14.2. Корректность и некорректность.....	76
14.3. Регуляризация.....	77
14.4. Метод регуляризации Тихонова.....	78
Лекция 15. Классификация методов решения обратных задач.....	80
15.1. Классифицирующие признаки.....	80
15.2. Классификация методов решения внутренних ОЗТ.....	81
15.3. Неэкстремальные методы с обращением решения прямой задачи без преобразования модели.....	82
15.4. Неэкстремальные методы с обращением решения прямой задачи и преобразованием модели.....	84
15.5. Неэкстремальные методы с обращением модели без ее преобразования.....	85
15.6. Неэкстремальные методы с обращением модели и ее преобразованием.....	87
Лекция 16. Экстремальные методы решения внешних и внутренних ОЗТ...	89
16.1. Вводные замечания.....	89
16.2. Экстремальные методы с неавтоматизированным подбором без преобразования модели для решения внутренних ОЗТ.....	90
16.3. Экстремальные методы с неавтоматизированным подбором и преобразованием модели для решения внутренних ОЗТ.....	91

Содержание

16.4. Экстремальные методы с автоматизированным подбором для решения граничных ОЗТ.....	92
16.5. Экстремальные методы с автоматизированным подбором без преобразования модели для решения внутренних ОЗТ.....	93
16.6. Экстремальные методы с автоматизированным подбором и преобразованием модели для решения внутренних ОЗТ.....	95
Лекция 17. Метод автоматизированного подбора.....	96
17.1. Вводные замечания.....	96
17.2. Отличительные признаки метода.....	96
17.3. Применение метода автоматизированного подбора для аппроксимации.....	98
Лекция 18. Метод спектральных функций влияния.....	101
Лекция 19. Градиентные алгоритмы решения ОЗТ.....	104
19.1. Постановка задачи.....	104
19.2. Итерационный принцип регуляризации.....	106
19.3. Параметрическая оптимизация при решении ОЗТ.....	107
Лекция 20. Метод оптимальной динамической фильтрации.....	109
Лекция 21. Планирование эксперимента для решения ОЗТ.....	117
Лекция 22. Общий инженерный подход к решению ОЗТ.....	121
22.1. Основные положения предложенного подхода.....	121
22.2. Метод решения ОЗТ, соответствующий предложенному подходу.....	122
Лекция 23. Получение исходных данных для решения прямых и обратных задач.....	125
23.1. Технические средства проведения теплофизического эксперимента.....	125
23.2. Пакет программ «MEASURES» для автоматизации теплофизического эксперимента.....	129
Лекция 24. Технические и программные средства для решения ОЗТ.....	134
24.1. Аналоговая техника.....	134
24.2. Аналого-цифровая техника.....	136
24.3. Цифровая техника.....	139
Рекомендованная литература.....	146