Ушаков Д. М.

Введение в математические основы САПР

(курс лекций)

ДМК Пресс
издательство
Москва, 2011

УДК 32.973.26-018.2
ББК 004.438
У93

Ушаков Д. М.
У93 Введение в математические основы САПР: курс лекций.– М.: ДМК Пресс, 2011. – 208 с. : ил.

ISBN 978-5-94074-500-6

Книга представляет собой краткое изложение курса лекций «Введение в математические основы САПР», организованного Новосибирским государственным университетом при поддержке компании ЛЕДАС. Лекции рассчитаны на студентов старших курсов, специализирующихся в области прикладной математики, информатики и информационных технологий. Излагаемый материал может быть полезен разработчикам САПР, ученым, инженерам, а также всем интересующимся современными тенденциями в области автоматизации промышленных процессов.

УДК 32.973.26-018.2
ББК 004.438

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-94074-500-6

© Ушаков Д. М., 2011
© Оформление, ДМК Пресс, 2011

Содержание

Введение 10

Организатор курса 10
Целевая группа 10
Цели курса 11
Организация занятий 11
Структура курса 11
Благодарности 12

Лекций 1. Введение в САПР 13

Классы САПР 14
Автоматизация современного машиностроительного предприятия 14
Исторический обзор развития систем автоматизации проектирования 16
Функциональность CAD-систем 22
Современные CAD-системы и их классификация 25
Системы инженерного анализа (CAE) 26
Системы технологической подготовки производства (CAPP) 27
Системы автоматизации производства (CAM) 28
Системы управления данными об изделии (PDM) 28
Интегрированные пакеты управления жизненным циклом изделия 30
Вопросы для самоконтроля 31
Дополнительная литература 31

Лекция 2. Геометрическое моделирование 33

Автоматизация черчения и геометрическое моделирование ... 34
Виды геометрического моделирования 35
Функции твердотельного моделирования 37
Декомпозиционные модели 38
Конструктивные модели 39
Граничные модели 40
Корректность граничных моделей 42

Пакеты геометрического моделирования
и их функциональность 43
Вопросы для самоконтроля 44
Дополнительная литература 44

Лекция 3. Базовые геометрические объекты 45

Аффинное пространство и соглашение о нотации 46
Способы задания аналитических кривых и поверхностей 46
Изометрии аффинного пространства 48
Матричное представление трансформации в аффинном
пространстве 49
Однородные координаты 50
Углы Эйлера 51
Экспоненциальное представление трансформации 52
Вопросы для самоконтроля 53
Дополнительная литература 54

Лекция 4. Инженерные кривые и поверхности ... 55

Кусочные кривые и их гладкость 56
Билинейный лоскут 56
Поверхности сдвига и вращения 56
Линейчатая поверхность 57
Лоскут Кунса 57
Эрмитова кривая, бикубическая поверхность и лоскут
Фергюсона 58
Кривые и поверхности Безье 61
Алгоритм де Кастельжо 62
B-сплайны и B-сплайновые поверхности 63
Рациональные кривые и поверхности 64
Интерполяционные кривые и поверхности 65
Вопросы для самоконтроля 65
Дополнительная литература 66

Лекция 5. Обмен геометрическими данными 67

Стандарты обмена геометрическими данными 68
Формат IGES 68
Формат DXF 70

Формат STEP 70
Мозаичные модели 71
Формат STL 72
Формат VRML 73
Поверхности подразделения 73
Вопросы для самоконтроля 79
Дополнительная литература 79

Лекция 6. Вариационное моделирование: алгебраический подход 81

Параметры, ограничения и вариационные модели 82
Создание эскизов и проектирование сборок 82
Задача размещения геометрических объектов и ее характеристики 83
Вариационный геометрический решатель 84
Способы алгебраического моделирования геометрической задачи 85
Метрический тензор геометрической задачи 86
Методы символьного упрощения систем алгебраических уравнений 87
Декомпозиция Далмеджа–Мендельсона 88
Метод Ньютона–Рафсона 89
Решение систем линейных уравнений 91
Методы координатного и градиентного спуска 92
Вопросы для самоконтроля 93
Дополнительная литература 93

Лекция 7. Вариационное моделирование: диагностика и декомпозиция задачи 95

Диагностика геометрических задач 96
Методы упрощения геометрических задач 96
Определение и классификация методов декомпозиции 97
Граф ограничений 97
Методы рекурсивного деления 98
Методы рекурсивной сборки 99
Формирование кластеров с помощью анализа графа ограничений 100

Формирование кластеров на основе шаблонов 102
Эвристическое формирование псевдокластеров 103
Распространение степеней свободы 103
Вопросы для самоконтроля 103
Дополнительная литература 104

Лекция 8. Инженерия знаний в САПР 105

Параметрическое проектирование на основе конструктивных элементов 106
Инженерные параметры 108
Отношения базы знаний 109
Параметрическая оптимизация 110
Экспертные знания и продукционные системы 112
Вопросы для самоконтроля 113
Дополнительная литература 114

Лекция 9. Методы поиска и оптимизации решения 115

Задачи удовлетворения ограничениям и оптимизации в ограничениях в общей постановке, их связь 116
Классификация методов поиска и оптимизации решения 117
Метод координатного спуска 118
Метод градиентного спуска 118
Жадный алгоритм 119
Метод Ньютона 119
Методы перебора 120
Методы редукции областей 121
Метод ветвей и границ 123
Алгоритм модельной закалки 124
Генетические алгоритмы 125
Вопросы для самоконтроля 126
Дополнительная литература 126

Лекция 10. Инженерный анализ кинематики 127

Прямая и обратная задачи кинематики механизмов 128
Виды кинематических пар 128

Моделирование механизмов 131
Геометрические измерения 131
Моделирование задачи кинематики 132
Дифференциальное уравнение движения 133
Натуральный градиент уравнения 134
Алгоритмы численного решения дифференциальных уравнений 135
Планирование движения 136
Вопросы для самоконтроля 137
Дополнительная литература 138

Лекция 11. Инженерный анализ динамики 139

Задача анализа динамики механизмов 140
Движение абсолютно твердого тела в трехмерном пространстве 140
Моделирование контакта тел 142
Альтернативный подход: уравнения Лагранжа 143
Методы определения столкновений 145
Алгоритмы широкой фазы 145
Алгоритмы фазы сужения 147
Коммерческое программное обеспечение для симуляции движения 148
Вопросы для самоконтроля 148
Дополнительная литература 149

Лекция 12. Инженерный анализ методом конечных элементов 151

Конечно-элементный анализ 152
Введение в метод конечных элементов 152
Анализ упругости тела 152
Тензор деформаций 153
Тензор напряжений 154
Обобщенный закон Гука, матрицы жесткости и упругости 155
Уравнение равновесия тела под нагрузкой 157
Применение МКЭ для расчета малых напряжений тела под нагрузкой 157
Другие приложения МКЭ 159
Типы конечных элементов 159

Разбиения для МКЭ 160
Общая схема конечно-элементного анализа
в CAE-системах 161
Коммерческие пакеты конечно-элементного анализа 162
Вопросы для самоконтроля 162
Дополнительная литература 164

Лекция 13. Автоматизация производства 165

Архитектура станков с ЧПУ 166
Принципы программирования для станков с ЧПУ 167
Языки программирования высокого уровня для станков с ЧПУ .. 168
Генерация программ для станков с ЧПУ по CAD-моделям 170
Быстрое прототипирование и изготовление 171
Виртуальная инженерия 173
Вопросы для самоконтроля 173
Дополнительная литература 174

Лекция 14. Технологическая подготовка производства 175

Интеграция CAD и CAM 176
Задачи инженера-технолога 176
Модифицированный подход к технологической подготовке 177
Групповая технология 178
Классификация и кодирование деталей 178
Генеративный подход к технологической подготовке 180
Конструкторско-технологические элементы 181
Методы автоматического распознавания конструктивных
элементов 182
Пример автоматического распознавания КТЭ 185
Вопросы для самоконтроля 185
Дополнительная литература 186

Лекция 15. Управление данными на протяжении жизненного цикла изделия 187

Системы управления данными об изделии 188
Цифровой макет изделия (DMU) и спецификация
материалов (BOM) 188

Примеры PDM-систем 189
Программное обеспечение для организации бизнес-процессов 189
Из чего состоит PLM? 191
Интеграция PLM с системами управления отношениями с заказчиками 193
Интеграция PLM с системами управления цепочками поставок 194
Интеграция PLM с системами управления ресурсами предприятия 195
Практические подходы к интеграции систем PLM с CRM, SCM и ERP 197
Преимущества внедрения систем PLM 199
Вопросы для самоконтроля 200
Дополнительная литература 201

Краткий англо-русский словарь аббревиатур в области автоматизации проектирования и производства 202

Список литературы 205

Введение

Настоящая книга представляет собой второе издание оригинального одноименного курса лекций, который раз разработан автором для обучения студентов профильных специальностей математическим и информационным основам разработки систем автоматизации проектных работ и смежного программного обеспечения. Данный курс читается автором с 2005 года в Новосибирском государственном университете для студентов-магистрантов двух факультетов: механико-математического и информационных технологий.

Организатор курса

Курс лекций был подготовлен автором при поддержке компании ЛЕДАС, являющейся независимым производителем вычислительных программных компонентов для систем автоматизации проектирования и планирования. Компанией разработаны оригинальные технологии, основанные на программировании в ограничениях (научная область на стыке вычислительной математики и комбинаторики), которые широко применяются при производстве собственных и заказных программных продуктов, а также при оказании консультационных услуг. Среди клиентов ЛЕДАС – ведущие мировые и российские производители систем автоматизированного проектирования (CAD), систем подготовки производства (CAM), инженерного анализа (CAE), управления жизненным циклом изделия (PLM), а также проектного и ресурсного планирования.

Целевая группа

Курс ориентирован на студентов старших курсов университетов, специализирующихся в области прикладной математики, информатики и информационных технологий. От слушателей требуются базовые знания линейной алгебры, аналитической геометрии, теории графов, программирования. Для глубокого понимания излагаемого материала полезно знакомство с вычислительными методами решения систем алгебраических и дифференциальных уравнений, а также с алгоритмами из области исследования операций.