

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Юго – Западный государственный университет»

**А. А. Котельников**

## **CAD/CAM/CAE СИСТЕМЫ**

Учебное пособие

Курск 2014

УДК 621.791:004.92(075.8)  
ББК 30.41:32.97я7  
К737

Рецензенты:

Декан инженерного факультета КГСХА  
д.т.н., проф. *Башикиев А. П.*

И.о. директора АО НИИ «Электроагрегат» *Фомичёв Е. Н.*

**Котельников А. А.**

CAD/CAM/CAE системы: учеб. пособие/ А. А. Котельников;  
Юго-зап. гос. ун-т. Курск, 2014. 336 с.: ил.169, Библиогр.:с. 333-334.

**ISBN 978-5-905556-91-3**

Учебное пособие соответствует Государственному образовательному стандарту направления 150700 «Машиностроение».

В работе изложены актуальные вопросы применения средств автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства, а также автоматизированных систем научных исследований Приведены примеры применения компьютерных технологий в учебном процессе кафедры «Материаловедение и сварочное производство».

Учебное пособие предназначено для студентов технических вузов, обучающихся по специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства».

Может быть полезно конструкторам, технологам и аспирантам, работающим и обучающимся в области машиностроения, строительстве и в смежных отраслях.

**ISBN 978-5-905556-91-3**

УДК 621.791:004.92(075.8)  
ББК 30.41:32.97я7

© Юго-Западный государственный университет, 2014  
© ЗАО "Университетская книга"  
© А. А. Котельников, 2014

## Предисловие

Цель данного издания – изучение (преподавание) теоретической части учебных дисциплин:

1. «CAD/CAM системы»,
2. «Компьютерные технологии в сварочном производстве»
3. «Конструирование и расчёт сварочных приспособлений».

Учебное пособие соответствует Государственному образовательному стандарту направления 150700 «Машиностроение».

В работе изложены актуальные вопросы применения средств автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства, а также автоматизированных систем научных исследований Приведены примеры применения компьютерных технологий в учебном процессе кафедры «Материаловедение и сварочное производство».

Учебное пособие предназначено для студентов технических вузов, обучающихся по специальности 150202 «Оборудование и технология сварочного производства».

Может быть полезно конструкторам, технологам и аспирантам, работающим и обучающимся в области машиностроения, строительстве и в смежных отраслях.

Ил. 169. Библиогр.: 20 назв.

Все отзывы и замечания по книге просим направлять по адресу: Курск, ул. 50 лет Октября, 94, ЮЗГУ.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
<b>ГЛАВА 1. РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СВТ И САПР .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Роль и значение автоматизации производства в   современных условиях.....</b>	<b>15</b>
1.1.1 Понятие проектирования.....	17
1.1.2 Виды проектирования [1].....	17
<b>1.2 История развития СВТ и САПР [2].....</b>	<b>20</b>
1.2.1 Классификация систем автоматизированного проектирования	23
<b>ГЛАВА 2. CAD СИСТЕМЫ.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Система AutoCAD.....</b>	<b>29</b>
2.1.1 Технология работы с командами AutoCAD .....	30
2.1.2 Построение изометрических чертежей.....	33
2.1.3 Построение трёхмерных моделей в AutoCAD .....	33
2.1.4 Формирование типовых объёмных тел.....	33
2.1.5 Визуализация трёхмерных чертежей .....	35
<b>2.2 Система Autodesk Inventor .....</b>	<b>37</b>
2.2.1 Общие сведения о программе Autodesk Inventor[8] .....	37
2.2.2 Импортрование файлов из AutoCAD.....	38
<b>2.3 Система КОМПАС-3D .....</b>	<b>41</b>
2.3.1 Основные принципы работы в системе трехмерного моделирования КОМПАС-3D.....	44
<b>2.4. Система T-FLEX.....</b>	<b>53</b>
2.4.1 Общие сведения о программе T-FLEX CAD[12].....	53
2.4.2 Создание трёхмерной модели дробильного барабана.....	55
<b>2.5 Система APM WinMachine.....</b>	<b>57</b>
2.5.1 Общие сведения о программе APM WinMachine[13].....	57
2.5.2 Модули системы APM WinMachine.....	58
2.5.3 Назначение и возможности модуля APM Structure3D .....	59
2.5.4 Построение стержневой конструкции в APM Structure3D .....	59
<b>2.6 Система SolidWorks .....</b>	<b>72</b>
2.6.1 Общие сведения о программе .....	72
2.6.2 Инструменты и возможности базового модуля .....	73
2.6.3 Проектирование деталей .....	75
2.6.4 Создание сборки.....	77
2.6.5 Создание чертежей.....	78
2.6.6 Экспресс-анализ прочности деталей.....	79
2.6.7 Обмен данными с другими САПР.....	79
2.6.8 Пример построения деталей и сборки муфты [5].....	80

<b>2.7 Система Unigraphics.....</b>	<b>86</b>
2.7.1 Модули NX.....	87
2.7.2 Правила параметрического конструирования в NX .....	91
2.7.3 Пример построения зубчатого колеса[5] .....	92
<b>2.8 Система CATIA.....</b>	<b>95</b>
2.8.1 Общие сведения о программе[15] .....	95
2.8.2 Платформы программы .....	96
2.8.3 Проектирование двутавровой балки .....	97
<b>2.9 Система 3DStudio MAX.....</b>	<b>108</b>
2.9.1 Построение моделей объектов РТК.....	110
2.9.2 Создание текста .....	116
2.9.3 Разработка методики создания специальных эффектов.....	117
<b>2.10 Система Microsoft Word .....</b>	<b>126</b>
<b>ГЛАВА 3. СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....</b>	<b>129</b>
<b>3.1 Язык AutoLISP.....</b>	<b>129</b>
3.1.1 Работа с системными переменными.....	131
3.1.2 Команды AutoCAD.....	134
3.1.3 Функции для нанесения размеров .....	136
3.1.4 Пример составления программы для автоматического вычерчивания втулки №27 .....	142
3.1.5 Пример составления программы для автоматического вычерчивания планшайбы .....	144
3.1.6 Пример составления программы для автоматического вычерчивания трёхмерной конструкции приспособления .....	146
3.1.7 Вариационные связи геометрических объектов .....	153
3.1.8 Методика оптимизации плана размещения оборудования на участке[9] .....	185
3.1.9 Разработка разрезов здания цеха .....	199
3.1.10 Использование языка программирования AutoLISP для разработки планировок размещения оборудования в системе AutoCAD.....	207
<b>3.2. Язык программирования MAXScript.....</b>	<b>234</b>
3.2.1 Создание примитивов в MAXScript .....	235
3.2.2 Трансформация объектов .....	236
3.2.3 Материалы в MAXScript.....	239
3.2.4 Создание источников света .....	239
3.2.5 Листинг программы построения модели балки .....	240
<b>ГЛАВА 4. САМ СИСТЕМЫ .....</b>	<b>244</b>
<b>4.1 Языки программирования промышленных роботов... 244</b>	
<b>4.2 Язык Assembler – (Ассемблер) .....</b>	<b>245</b>

4.2.1 Команды.....	248
4.2.2 Алгоритм организации работы приводов.....	248
4.2.3 Подпрограмма задержки .....	249
4.2.4 Устройства параллельного обмена.....	251
4.2.5 Пример выполнения работы №1 .....	252
<b>4.3 Комплект технологических документов.....</b>	<b>268</b>
<b>4.4 Система обозначения технологических документов....</b>	<b>270</b>
<b>4.5 Классификатор оборудования электротехнической промышленности .....</b>	<b>271</b>
<b>4.6 Классификатор видов работ и профессий рабочих .....</b>	<b>272</b>
<b>4.7 Проектирование, моделирование и оптимизация технологических процессов[1]. .....</b>	<b>272</b>
4.7.1 Уровни автоматизации .....	274
4.7.2 Основные методы проектирования технологических процессов .....	276
<b>4.8 Программное обеспечение САПР ТП.....</b>	<b>280</b>
4.8.1 «КОМПАС - АВТОПРОЕКТ» .....	280
4.8.2 «ТехноПро».....	287
4.8.3 ВЕРТИКАЛЬ.....	291
<b>ГЛАВА 5. САЕ СИСТЕМЫ.....</b>	<b>295</b>
<b>5.1 Изобретающая машина[19] .....</b>	<b>296</b>
5.1.1 Методология решения изобретательских задач.....	296
5.1.2 Пример решения изобретательской задачи.....	302
<b>5.2. Применение метода конечных элементов в расчётах сварных конструкций.....</b>	<b>310</b>
5.2.1 Основы конечно – элементного анализа.....	310
5.2.2 Конечно – элементные программные пакеты .....	311
5.2.3 Расчёт методом конечных элементов трёхмерных конструкций в среде COSMOSXpress .....	312
5.2.5 Расчёт напряжённо – деформированного состояния в NX Nastran .....	320
5.2.6 Расчёт напряжённо – деформированного состояния в КОМПАС – 3D (APM FEM) .....	323
5.2.7 Расчёт напряжённо – деформированного состояния в MSC.SimDesigner for CATIA.....	326
5.2.8 Расчёт напряжённо – деформированного состояния в SolidWorks (Simulation).....	329
5.2.9 Сравнительный анализ результатов расчёта методом сопротивления материалов и методом конечных элементов ...	331
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>332</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>346</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**CAD** – (англ. Computer-aided design/drafting) – средства автоматизированного проектирования. Русский аналог – САПР (система автоматизированного проектирования).

**CAM** – (англ. Computer-aided manufacturing) – средства технологической подготовки производства изделий, обеспечивают автоматизацию программирования и управления оборудованием с ЧПУ или ГАПС (Гибких автоматизированных производственных систем). Русским аналогом термина является АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства.

**CAE** – (англ. Computer-aided engineering) или *автоматизированная система научных исследований (АСНИ)* - это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для анализа геометрии CAD, моделирования и изучения поведения продукта для усовершенствования и оптимизации его конструкции. *CAE* – общий термин для обозначения информационного обеспечения автоматизированного анализа проекта (прочностные расчеты, коллизии кинематики и т.п.) или оптимизации производственных возможностей.

### Понятие CAD/CAM/CAE систем [1]

Первым этапом в области разработки программных средств САПР является создание интерактивных графических редакторов для работы с двумерными и трехмерными геометрическими объектами – *систем автоматизированного черчения (CADD – Computer Aided Design and Drafting)*.

При глобальном рассмотрении все графические редакторы работают одинаково: для них определены элементарные геометрические объекты (примитивы) и процедуры манипулирования ими (редактирования). Такое упрощенное представление о процессе проектирования недостаточно точно отражает работу инженера-конструктора, не позволяет отличить ее от деятельности чертежника, полностью ограниченной изготовлением технической документации. Специализация графических редакторов привела к появлению утилит (образмеривания, параметрирова-

*Учебное издание*

**Котельников Анатолий Александрович**

**CAD/CAM/CAE СИСТЕМЫ**

Учебное пособие

Редактор Горохов А.А.  
Компьютерная верстка и макет Горохов А.А.

Подписано в печать 0.04.2014. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 9,5. Уч.-изд. л. 20,5. Тираж 100 экз. Заказ 083  
Юго-Западный государственный университет.

Отпечатано в типографии  
Закрытое акционерное общество "Университетская книга"  
305018, г. Курск, ул. Монтажников, д.12  
ИНН 4632047762 ОГРН 1044637037829  
дата регистрации 23.11.2004 г.  
Телефон +7-910-730-82-83