

SolidWorks

2007/2008

**компьютерное моделирование
в инженерной практике**

Санкт-Петербург
«БХВ-Петербург»
2008

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26-018.2
А60

Алямовский, А. А.

A60 SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарев. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 1040 с.: ил. + DVD — (Мастер)

ISBN 978-5-94157-994-5

Рассматриваются программы для инженерного анализа в совокупности с системой проектирования SolidWorks. Описываются методики расчетов на прочность, устойчивость, колебания и динамику твердых тел в COSMOSWorks; газогидродинамики и теплопередачи в COSMOSFloWorks и EFD.Lab, кинематики и динамики механических систем посредством COSMOSMotion. Приведены примеры разработки изделий из листового металла с помощью SolidWorks и BlankWorks. Уделено внимание проектированию типовых элементов механических систем посредством модуля SolidWorks Toolbox и приложения GearTrax. Приводится базовая информация о приложении GearTeq для проектирования механических передач. Большинство примеров проиллюстрированы реальными инженерными расчетами. На DVD содержатся полноцветные иллюстрации к книге, геометрические и расчетные модели, на базе которых строится материал.

Для инженеров, студентов, аспирантов и преподавателей вузов

УДК 681.3.06
ББК 32.973.26-018.2

Группа подготовки издания:

Главный редактор	<i>Екатерина Кондукова</i>
Зам. главного редактора	<i>Наталья Таркова</i>
Зав. редакцией	<i>Григорий Добин</i>
Редактор	<i>Игорь Цырульников</i>
Компьютерная верстка	<i>Ольги Сергиенко</i>
Корректор	<i>Зинаида Дмитриева</i>
Дизайн серии	<i>Инны Тачиной</i>
Оформление обложки	<i>Елены Беляевой</i>
Зав. производством	<i>Николай Тверских</i>

Лицензия ИД № 02429 от 24.07.00. Подписано в печать 31.10.07.

Формат 70×100^{1/16}. Печать офсетная. Усл. печ. л. 83,85.

Тираж 2000 экз. Заказ №

"БХВ-Петербург", 194354, Санкт-Петербург, ул. Есенина, 5Б.

Санитарно-эпидемиологическое заключение на продукцию № 77.99.02.953.Д.006421.11.04 от 11.11.2004 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ГУП "Типография "Наука"
199034, Санкт-Петербург, 9 линия, 12

ISBN 978-5-94157-994-5

© Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В.,
Харитонович А. И., Пономарев Н. Б., 2008
© Оформление, издательство "БХВ-Петербург", 2008

Оглавление

Об авторах	1
Введение	3
Предисловие	5
Аудитория	6
Предназначение	7
Соглашения	9
Благодарности	9
Контактная информация	10
Глава 1. SolidWorks как база для инженерных приложений	11
1.1. Интегрированные CAD/CAE-системы	11
1.2. Твердотельное моделирование	14
1.3. Поверхностное и гибридное моделирование	15
1.4. Работа в сборке.....	17
1.5. Работа в режиме чертежа.....	18
1.6. Обмен графической информацией.....	19
Глава 2. Методы решения уравнений физики в механических САПР	21
2.1. Основы метода конечных элементов.....	21
2.1.1. Понятие конечного элемента	22
2.1.2. Построение программы МКЭ	25
2.1.3. Учет нелинейности в процедурах МКЭ	27
2.2. Метод конечных объемов	31
2.3. Методы оптимизации в инженерном анализе	37
2.3.1. Параметрические системы проектирования как элемент систем оптимизации	38
2.3.2. Базовые понятия нелинейного программирования	39

2.3.3. Алгоритм метода комплексов	45
2.3.4. Использование процедур оптимизации в САПР	48
2.4. Методы построения оптических моделей и расчета изображений	52

Глава 3. Структурная механика — линейная задача (COSMOSWorks)..... 57

3.1. Назначение.....	58
3.2. Теоретическая база.....	59
3.3. Интерфейс	61
3.4. Функциональные возможности.....	69
3.4.1. Базовые возможности анализа	70
3.4.2. Последовательность расчета	71
3.4.3. Свойства материалов	72
3.4.4. Граничные условия	72
3.4.5. Генерация сетки	72
3.4.6. Контактная задача	73
3.4.7. Решатели	77
3.4.8. Постпроцессор	77
3.4.9. Интерфейсы	77
3.4.10. Возможности версии 2007 года	78
3.5. Моделирование узлов посредством гибридных сеток конечных элементов	83
3.5.1. Постановка задачи	84
3.5.2. Подготовка геометрической модели	84
3.5.3. Анализ	86
3.5.4. Решение.....	88
3.5.5. Модель точечных швов с использованием виртуальных объектов	96
3.6. Моделирование конструкций посредством гибридных сеток конечных элементов	101
3.6.1. Постановка задачи	101
3.6.2. Подготовка геометрической модели	102
3.6.3. Анализ	105
3.6.4. Решение.....	105
3.7. Расчет рам посредством гибридных, поверхностных и балочных моделей	128
3.7.1. Постановка задачи	128
3.7.2. Расчет опоры по гибридной модели с поверхностями и телами.....	128
3.7.3. Расчет ствола по оболочечной модели.....	140
3.7.4. Основы построения балочных моделей	141
3.7.5. Расчет ствола по балочной модели.....	157
3.7.6. Расчет мачты по балочной модели	161
3.8. Выводы.....	166

Глава 4. Структурная механика — нелинейная задача (COSMOSWorks)..... 167

4.1. Назначение.....	168
4.2. Теоретическая база.....	168

4.3. Интерфейс	169
4.4. Функциональные возможности	169
4.4.1. Базовые возможности анализа	169
4.4.2. Последовательность расчета	170
4.4.3. Свойства материалов	171
4.4.4. Генерация сетки	174
4.4.5. Граничные условия	174
4.4.6. Контактная задача	174
4.4.7. Решатели	175
4.4.8. Постпроцессор	176
4.5. Упругопластическая модель проушины амортизатора	176
4.5.1. Постановка задачи	176
4.5.2. Анализ	180
4.5.3. Решение.....	181
4.5.4. Анализ состояния узла с учетом физической нелинейности.....	197
4.6. Устойчивость квадратной пластины.....	203
4.6.1. Постановка задачи	203
4.6.2. Анализ	204
4.6.3. Решение.....	205
4.7. Закритическое поведение цилиндрической оболочки	211
4.7.1. Постановка задачи	211
4.7.2. Анализ	212
4.7.3. Решение.....	213
4.8. Выводы.....	217

Глава 5. Аэрогидродинамика и теплопередача **219**

5.1. COSMOSFloWorks, EFD.Lab, EFD.V5, EFD.Pro, FloXpress	219
5.2. Кому и зачем нужны эти расчеты?	222
5.3. Возможности COSMOSFloWorks	226
5.3.1. Математическое моделирование физических процессов	227
5.3.2. Решение поставленной математической задачи.....	245
5.4. Взаимодействие с SolidWorks	252
5.4.1. Твердое тело и область, занятая текучей средой.....	254
5.4.2. Проект и конфигурация.....	267
5.4.3. Визуализация результатов в среде SolidWorks.....	269
5.4.4. Интерфейс COSMOSFloWorks.....	276
5.5. Решение задачи.....	285
5.5.1. Возможность решения задачи.....	285
5.5.2. Модификация модели SolidWorks	286
5.5.3. Создание проекта COSMOSFloWorks	287
5.5.4. Физические особенности.....	321
5.5.5. Задание граничных и начальных условий.....	334
5.5.6. Постановка целей проекта.....	384
5.5.7. Регулирование расчетной сетки.....	385
5.5.8. Управление процессом расчета	397

5.5.9. Просмотр результатов	416
5.5.10. Инструменты COSMOSFloWorks	449
5.5.11. Определение точности полученного решения.....	452
5.6. Стратегия решения задачи.....	459
5.6.1. Рекомендации по просмотру результатов	460
5.6.2. Некоторые ошибки пользователей	463
5.7. Подводя итоги	467
Глава 6. Проектирование элементов механических систем	469
6.1. Кулачки	469
6.1.1. Функциональные возможности и ограничения	469
6.1.2. Интерфейс.....	471
6.1.3. Практика использования	471
6.2. Проектирование и расчет балок.....	493
6.2.1. Функциональные возможности и ограничения	493
6.2.2. Интерфейс.....	494
6.2.3. Практика использования	494
6.3. Расчет подшипника	511
6.4. Toolbox Browser.....	513
6.4.1. Краткое описание	513
6.4.2. Автокрепежи.....	515
6.4.3. Трансмиссии.....	516
6.5. GearTrax	518
6.5.1. Функциональные возможности и ограничения	519
6.5.2. Интерфейс.....	523
6.5.3. Практика использования	535
6.6. Напряженно-деформированное состояние редуктора	553
6.6.1. Постановка задачи	553
6.6.2. Анализ	554
6.6.3. Решение.....	556
6.6.4. Выводы	568
6.7. Выводы.....	568
Глава 7. Кинематика и динамика (COSMOSMotion)	571
7.1. Назначение.....	571
7.2. Теоретическая база.....	572
7.3. Интерфейс	573
7.4. Функциональные возможности.....	577
7.4.1. Возможности версий 2006—2007 годов	578
7.4.2. Команды программы	580
7.4.3. Интерфейс с COSMOSWorks	591
7.5. Моделирование косоугого зубчатого зацепления	597
7.5.1. Постановка задачи	598
7.5.2. Анализ	600

7.5.3. Решение.....	601
7.5.4. Рассмотрение результатов.....	625
7.5.5. Модифицирование конструкции.....	634
7.5.6. Прочностной анализ элементов динамической системы.....	638
7.6. Выводы.....	642

Глава 8. Листовой металл — развертки и заготовки (SolidWorks, BlankWorks)..... 645

8.1. Назначение.....	646
8.2. Теоретическая база.....	647
8.2.1. Развертки в SolidWorks.....	647
8.2.2. Развертки в BlankWorks.....	654
8.3. Функциональные возможности и ограничения.....	654
8.3.1. Листовой металл в SolidWorks.....	654
8.3.2. BlankWorks.....	684
8.4. Получение заготовки чашки.....	689
8.4.1. Постановка задачи.....	689
8.4.2. Анализ.....	689
8.4.3. Подготовка поверхностной модели.....	690
8.4.4. Решение.....	691
8.4.5. Резюме.....	695
8.5. Выводы.....	696

Глава 9. Светотехнический анализ и проектирование (OptisWorks)..... 697

9.1. Назначение.....	698
9.2. Теоретическая база OptisWorks.....	699
9.3. Интерфейс.....	704
9.3.1. Дерево проекта.....	704
9.3.2. Меню.....	708
9.3.3. Панели инструментов.....	716
9.4. Настройки.....	723
9.4.1. Деталь.....	723
9.4.2. Сборка.....	728
9.5. Светотехнический анализ — базовая функциональность.....	731
9.5.1. Источники света.....	731
9.5.2. Поверхности.....	735
9.5.3. Материалы.....	746
9.5.4. Детекторы.....	754
9.5.5. Фотометрическая симуляция.....	766
9.5.6. Результаты на базе детекторов.....	768
9.6. Светотехнический анализ — проектирование рассеивателя.....	779
9.6.1. Фотометрическая модель светодиода.....	780
9.6.2. Подготовка модели корпуса.....	798
9.6.3. Размещение виртуальных источников.....	799

9.6.4. Формирование геометрической модели рассеивателя.....	800
9.6.5. Оптическая симуляция	804
9.6.6. Построение фотометрической модели	806
9.6.7. Фотометрическая симуляция	807
9.6.8. Оптимальное проектирование	814
9.6.9. Эксперт по свету	837
9.6.10. Заключение	845
9.7. Оптический анализ и проектирование — базовая функциональность	846
9.7.1. Подготовка геометрической модели	846
9.7.2. Подготовка оптической модели.....	847
9.7.3. Оптический анализ.....	857
9.7.4. Оптическая оптимизация.....	869
9.8. Заключение	870

Глава 10. Оптимизация работы механических САПР 871

10.1. Аппаратное обеспечение	871
10.2. Тип и настройки операционной системы.....	876
10.3. Настройки SolidWorks	879
10.4. Специальные манипуляции	884
10.5. Использование сетевых дисков.....	884
10.6. Одновременное функционирование нескольких приложений	885
10.7. Выводы.....	886

ПРИЛОЖЕНИЯ..... 887

Приложение 1. COSMOSWorks 2008 — новые возможности..... 889

П1.1. Общие усовершенствования.....	889
П1.2. Новые типы анализа	893
П1.2.1. Проектирование сосудов давления	893
П1.2.2. Динамический линейный анализ	900
П1.2.3. Динамический нелинейный анализ.....	930
П1.3. Изменения в реализации анализов определенных типов	933
П1.3.1. Расчет коэффициентов видимости для оболочек	933
П1.3.2. Участие грани в теплообмене излучением одновременно с внешней средой и с гранями	933
П1.3.3. Нелинейный анализ с учетом больших деформаций	936
П1.3.4. Процедуры экспорта результатов в другие программы МКЭ	936
П1.3.5. Функциональность балочных моделей.....	936
П1.3.6. Сценарии проектирования.....	947
П1.3.7. Поддержка больших перемещений.....	949
П1.3.8. Процедура <i>Выявить тенденцию</i>	949
П1.4. Граничные условия.....	951
П1.4.1. Справочные точки для управления сеткой и для приложения нагрузок	951

П1.4.2. Соединитель <i>Болт</i>	952
П1.4.3. Соединитель <i>Шпилька</i>	954
П1.5. Сетка.....	954
П1.5.1. Гибридные сетки.....	954
П1.5.2. Использование справочных точек для управления сеткой.....	955
П1.5.3. Сетка для контактов <i>Узел к поверхности и Поверхность с поверхностью</i>	955
П1.5.4. Модифицированный алгоритм создания сетки.....	955
П1.6. Контактные условия.....	957
П1.6.1. Реализация контактных условий с несовместными сетками.....	957
П1.6.2. Усовершенствованный контакт <i>Поверхность с поверхностью</i>	959
П1.6.3. Контактные условия в гибридных сетках.....	963
П1.7. Отображение и обработка результатов.....	974
П1.7.1. Сохранение деформированного вида модели.....	974
П1.7.2. Графики журналов времени.....	976
П1.7.3. Отображение компонентов деформации в нелинейном расчете.....	976
П1.7.4. Эпюра <i>Суть проекта</i>	977
П1.7.5. Линеаризация напряжений.....	983
Приложение 2. COSMOSFloWorks 2008 — новые возможности.....	991
П2.1. Новые физические модели.....	991
П2.1.1. Реальные газы.....	991
П2.1.2. Теплопередача в пористых телах.....	992
П2.2. Интеграция с SolidWorks.....	992
П2.2.1. Автоматическое исправление контактов.....	992
П2.2.2. Утилита для создания крышек.....	992
П2.2.3. Проект сохраняется в файл модели.....	994
П2.3. Интерфейс и удобство пользования.....	994
П2.3.1. Задание исходных данных.....	994
П2.3.2. Наблюдение за расчетом.....	996
П2.3.3. Просмотр результатов.....	997
Приложение 3. COSMOSMotion 2008 — новые возможности.....	1001
ПЗ.1. Общие усовершенствования.....	1001
ПЗ.1.1. Русификация COSMOSMotion.....	1001
ПЗ.1.2. COSMOSMotion как элемент Исследования движения.....	1001
ПЗ.1.3. Наличие нескольких моделей движения.....	1003
ПЗ.1.4. Подключение COSMOSMotion.....	1003
ПЗ.1.5. Интеграция с SolidWorks.....	1004
ПЗ.2. Изменения в Менеджере движения.....	1006
ПЗ.2.1. Сворачиваемая панель.....	1006
ПЗ.2.2. Фильтры.....	1006
ПЗ.2.3. Ключевые точки.....	1006
ПЗ.2.4. Объекты процедуры Физическое моделирование.....	1006

П3.3. Функциональность COSMOSMotion.....	1006
П3.3.1. Демпфирующие свойства у пружин	1007
П3.3.2. Эпюры	1007
П3.3.3. Обработка избыточных ограничений	1007
Приложение 4. GearTeq — развитие GearTrax для проектирования механических передач.....	1009
П4.1. Общая информация	1009
П4.2. Интерфейс	1010
П4.3. Расширение функциональности	1011
Приложение 5. Описание диска	1015
Литература	1017
Предметный указатель	1019

Об авторах



Алямовский Андрей Александрович, кандидат технических наук, доцент, работал в Московском авиационном технологическом институте им. К. Э. Циолковского, специалист в области численных методов в механике композитов и конструкций. В настоящее время сотрудник фирмы SolidWorks Russia.



Одинцов Евгений Владимирович, руководитель отдела разработки программных продуктов ООО "Ника Софтвр", руководитель группы разработки генератора сетки.



Пономарев Николай Борисович, кандидат технических наук по специальности "Механика жидкости, газа и плазмы". Специалист в области прикладной математики, газовой динамики и теплообмена. Начальник сектора в ФГУП "Исследовательский центр им. М. В. Келдыша" Федерального космического агентства.



Собачкин Александр Александрович, кандидат технических наук по специальности "Механика жидкости, газа и плазмы", руководитель разработки программных продуктов ООО "Ника Софтвр".



Харитонович Алексей Игоревич, менеджер программных продуктов ООО "Ника Софтвр".

Введение

Эта книга является вторым изданием книги, вышедшей в 2005 году. Основной его идеей было дать системное представление о модулях инженерного анализа в среде проектирования SolidWorks. Рассматривались более известные инструменты, такие как COSMOSWorks (структурный и тепловой анализ), COSMOSMotion (кинематика и динамика), менее распространенные — COSMOSFloWorks (аэрогидродинамика и теплоперенос) и весьма — для России экзотические — TracePro (светотехнический анализ), ReflectorCAD (проектирование отражателей). Также описывались модули GearTrax (моделирование элементов трансмиссий) и SolidWorks ToolBox (база данных по элементам механических систем и стандартных объектов SolidWorks). Как представляется, результат нашего труда нашел свою аудиторию. В нее вошли как квалифицированные специалисты, так и те, кто начинает свою деятельность в сфере компьютерного моделирования в инженерии. Этому, надеемся, способствовала принятая установка на сочетание информационной, теоретической и практической составляющих, когда сведения о программе сопровождаются базовыми постулатами, лежащими в ее основе, а затем все это иллюстрируется более и менее элементарными примерами решенных задач.

За более чем два года с момента выхода книги в сфере систем автоматизированного проектирования в России произошли ощутимые изменения. Прежде всего, продолжилось распространение собственно инструментов геометрического моделирования. Подавляющая часть конкурентоспособных организаций перешла или находится на этапе перехода на трехмерное моделирование. Соответственно возросла база объектов, пригодных для расчета в современных системах анализа. Внедрение систем анализа является логическим развитием процесса автоматизации проектирования. За прошедшее время произошли существенные изменения и в функциональности программных продуктов, и в степени востребованности их у пользователей. Например, COSMOSFloWorks приобрел немало новых пользователей, причем аудитория

расширилась и за счет специалистов-практиков, и за счет студентов и аспирантов. Узнаваемыми стали и светотехнические модули. Надеемся, что помимо объективных причин — роста потребностей аудитории, улучшения функциональности, определенную роль сыграла и информация, которую мы поместили в книгу.

Развивая удачную, как нам представляется, идею, мы предлагаем новое издание книги. Здесь, следуя происшедшим событиям, существенно изменена и дополнена информация о COSMOSFloWorks. Она касается как новых возможностей, так и изрядно изменившегося интерфейса. Для других модулей семейства COSMOS — COSMOSWorks и COSMOSMotion разработаны новые примеры, иллюстрирующие возможности версий 2006 и 2007 года, а также затрагивающие те аспекты функционирования программ, которые не были в полной мере освещены в предыдущих изданиях под нашим авторством.

Когда рукопись была практически готова, появились пре-релизы продуктов семейства SolidWorks версии 2008 года. Базовые сведения о новых возможностях модулей COSMOS приведены в *приложениях*. Поскольку окончательные релизы могут отличаться от рабочих вариантов, то сделан акцент на описание функциональности, и авторские материалы являются скорее наблюдениями и соображениями, чем обоснованными суждениями и оценками.

Вместо рассмотренных в предыдущем издании светотехнической программы TracePro и ReflectorCAD в книгу помещена информация о модуле светотехнического проектирования и анализа OptisWorks. Здесь мы руководствовались тем, что этот инструмент, решая схожие с TracePro и ReflectorCAD задачи, имеет существенные различия в интерфейсе, функциональности и — в определенной степени — в теоретической базе. Представляется, что заинтересованному читателю будет интересно расширить свою эрудицию, а потенциальному потребителю программ — сделать аргументированный выбор.

В информацию о программах GearTrax, ToolBox, BlankWorks внесены относительно незначительные изменения, отражающие более и менее существенные модификации последних версий. Мы сохранили соответствующие главы, изменив при этом большую часть примеров, поскольку информация обладает достаточной актуальностью и не имеет аналогов в русскоязычной литературе.

В разделы, в которых конспективно описана теоретическая база расчетных приложений, внесены корректировки, отражающие изменения функциональности.

Книга сопровождается диском, на котором находятся цветные варианты иллюстраций — для анализа результатов работы расчетных процедур они существенно более информативны, чем монохромные. Там же содержатся гео-

метрические и, если таковые есть, расчетные модели, на базе которых строится материал книги.

Предисловие

Сейчас нет необходимости убеждать кого-либо в том, что компьютерное моделирование является необходимым инструментом создания современных технических объектов. Все более широкий круг предметов и явлений становится объектом компьютерной симуляции. Она внедрилась практически во все сферы инженерной деятельности. Другая тенденция — расширение круга пользователей CAE (Computer Aided Engineering)-продуктов. Практически до конца 1990-х годов их эксплуатация была уделом узкого круга профессионалов, своего рода "гуру" в соответствующих вопросах. Но расширение области применения высокотехнологичных инструментов (бытовая техника, электроника, индустрия автомобильных компонентов, товары для спорта и отдыха, бытовая светотехника и т. д.) потребовало создания таких программ, которые были бы доступны квалифицированному инженеру и стали атрибутом стандартного рабочего места.

Несколько иная ситуация характерна для отечественной промышленности. Несмотря на солидный "объем производства" инженеров, квалифицированный персонал весьма непросто сначала подобрать, а потом обеспечить работой, требующей специальных навыков и способствующей их развитию. Технологический уровень российской промышленности, а также система организации производства таковы, что почва для процветания продуктов high-end не слишком подходящая. В то же время, налицо некоторое развитие (а точнее, восстановление) интереса к CAE-программам. База для этого — массовое распространение геометрических CAD (Computer Aided Design)-систем. Значительная доля предприятий использует технологию пространственного моделирования, для некоторых она является основным инструментом разработки конструкторской документации и — нередко — технологических процессов (характерный пример — создание программ для УЧПУ). Естественным является переход на следующий уровень — компьютерный анализ и проектирование. Здесь существуют два источника развития: потребности производства и нормальный человеческий интерес. Надо сказать, что второе в некоторых является преобладающим. Наиболее логичный путь — освоение интегрированных приложений, сопровождаемое (нередко) овладением соответствующей теоретической базой.

Все программы, о которых пойдет речь в книге, являются так называемыми партнерскими приложениями к системе SolidWorks. Подробнее об этом речь пойдет ниже. Здесь же отметим, что это никоим образом не ограничивает круг объектов, которые исследуются программами, и, соответственно, кон-

тингент возможных читателей. Для наиболее популярных геометрических САПР разработаны соответствующие модификации расчетных модулей.

Среди авторов присутствуют разработчики программного обеспечения на базе SolidWorks, а также реселлеры упомянутых в книге продуктов. Ни та ни другая сфера деятельности не существуют в отрыве от инженерной практики, задач производства. Поэтому, декларируя определенную заинтересованность в продвижении упомянутых систем, мы постараемся на примере конкретных проблем показать их достоинства, не утаивая ограничений.

Аудитория

Прежде всего, авторы рассчитывают, что издание будет полезно инженерам-практикам, которые, имея дело с геометрическими САПР, сталкиваются с необходимостью выполнения анализа. В книге они найдут описание апробированных инструментов, информацию о соответствующих расчетных методиках.

Изырядная доля задач, иллюстрирующих программы, содержит элементы поиска. Эти аспекты могут заинтересовать аспирантов, специализирующихся в инженерных дисциплинах. Как сами по себе программы (в тех рамках, в которых они будут описаны), так и процесс их эксплуатации, строго говоря, не могут быть объектом исследования. Однако уровень их функциональности более чем достаточен для проверки гипотез, сопровождающих научные изыскания в технике. Более того, для рассмотрения выбраны продукты, ставшие в некотором смысле стандартами в соответствующих сферах применения. Соответственно, их изучение может стать своеобразным стимулом для собственных разработок.

Авторы надеются, что, попав в руки студента, книга окажется источником познавательной информации и средством расширить эрудицию. Тем более что компания SolidWorks Russia в рамках программы содействия вузам SWR-Академия на специальных льготных условиях поставляет программное обеспечение (SolidWorks, COSMOSWorks, COSMOSFloWorks, COSMOSMotion и ряд других приложений SolidWorks) с целью поддержки процесса профессиональной подготовки студентов с использованием САПР и PDM. Данная программа охватывает учебные заведения России, стран СНГ и Средней Азии. На момент сдачи рукописи в печать к программе SWR-Академия присоединилось уже более 200 организаций. Начиная с 2007 года, доступны коммерческие лицензии SolidWorks и расчетных модулей для учебных организаций. При существенно меньшей стоимости по сравнению с коммерческими поставками, они обладают идентичной функциональностью.

Издание не претендует на роль источника фундаментальных знаний, ограничиваясь прикладными целями. В то же время большинство описанных мето-

дик вполне доступно студентам старших курсов и могут быть применены для выполнения дипломных работ. Польза возрастет многократно, если чтение данного текста будет сопровождаться изучением литературы, содержащей полноценную теоретическую базу.

Предназначение

Если непредвзято посмотреть на ситуацию с отечественной литературой в области компьютерного моделирования и анализа, можно сделать несколько выводов. Один из них связан с тем, что широкий пласт проблем в большей или меньшей степени исключен из рассмотрения. Это, в частности, задачи вычислительной аэрогидродинамики и теплопередачи, имитации технологических процессов, проектирования светотехники и оптических устройств. Данная тенденция в значительной степени противоречит тому, что происходит в продвинутых сообществах — использование соответствующих программных продуктов стало одной из составляющих технического прогресса.

В более же популярных сферах — геометрическом моделировании, структурной механике, расчете механических систем — публикации группируются возле двух полюсов: с одной стороны — фундаментальные теоретические руководства, с другой — альтернатива в виде не слишком критических описаний с выраженным рекламным подтекстом. Последним грешит периодика. Более популярные журналы, имея бюджет, основанный на рекламе, не слишком заинтересованы в аналитических материалах. Круг же читателей специализированных изданий, по большей части ведомственных, вполне соответствует их тиражу. Есть и другие источники информации. Документация, сопровождающая программы, нередко содержит весьма показательные примеры. Но, по очевидным причинам, они стопроцентно успешны. Редкий разработчик адекватно опишет проблемы и ограничения. Кроме того, примеры нечасто выходят за рамки канонических задач, что, в общем-то, и неплохо. Именно они есть база для изучения явлений, не допускающих строгого решения. В последнее время многие фирмы — как производители, так и реселлеры — организовали соответствующие интернет-ресурсы, где помещена информация о конкретных задачах. Несмотря на ясную цель — рекламу и поиск заказчика, там можно найти заслуживающие внимания образцы исследований. Не менее очевидно и то, что все, находящееся между двумя моментами: формулировкой задачи и описанием решения удостаивается, в лучшем случае, только краткого упоминания.

В данной книге авторы постарались сопроводить описание программ примерами, иллюстрирующими вполне реальные инженерные задачи или этапы этих задач. Помимо этого процесс решения сопровождается более или менее

подробным описанием методической стороны вопроса, что, надеемся, найдет понимание заинтересованного читателя. Эти рассуждения могут показаться тривиальными, однако моменты, очевидные при использовании аналитических методов, не всегда так однозначны, применительно к алгоритмам вычислительного анализа.

Описанные программы решают различные задачи, однако их рассмотрение в одном издании (помимо того, что почти все они, как упоминалось, обладают статусом партнерского приложения SolidWorks) оправдано рядом аргументов. Большинство из них базируется на методах вычислительной математики. Это порождает схожесть методик подготовки геометрических моделей, назначения исходных данных и интерпретации результатов. Многие программы имеют интерфейс между собой (минуя SolidWorks или другие конструкторские пакеты), а множества типов задач для некоторых — пересекаются. Это, например, расчет на прочность на базе аналитических и численных методов, решение тепловой задачи посредством различных численных аппроксимаций. Одним из принципов отбора программ был принцип ориентированности на их использование конструктором. Инструменты технолога не рассматривались. Несомненно, в реальном производстве имеют место различные схемы организации труда, но вопросы сугубо технологического характера — они касаются процессов обработки материала — можно вычленивать и отделять вполне уверенно.

Поскольку книга претендует на определенную системность описания программ и методик их использования, несомненно, что степень подробности в освещении функциональности продуктов не может быть равноценна. Здесь авторы придерживались ориентации на тщательное изложение наиболее актуальных аспектов, а менее популярные вопросы только формулируются и не сопровождаются примерами. Например, среди задач аэрогидродинамики и теплопередачи жизненность вопроса расчета тепловых режимов электротехнических устройств относительно проблемы сверхзвукового течения непоставима (по крайней мере, для отечественной промышленности). Между тем, обе они решаются одной и той же программой. Похожий пример — проектирование светотехники и моделирование процессов волновой оптики. Первая — предмет повседневной деятельности многих инженеров, вторая — возникает только эпизодически. Инструмент же для них тождественен.

На отбор рассматриваемых вопросов наложили отпечаток личные пристрастия авторов, наличие подходящих примеров, а также, не скроем, желание посредством данной книги сформировать спрос на описанные программы. В то же время, абсолютное большинство сведений являются вполне инвариантными относительно сопоставимых программных решений.

Еще одно замечание касается объема и степени детализации теоретической базы рассматриваемых методов. Руководствуясь названием книги и здравым

смыслом, изложение теории ограничивается основами, которые необходимы для эксплуатации программ: формализации задачи, обеспечения эффективного вычислительного процесса, интерпретации результатов. Фундаментальные знания следует получать из специальных источников.

В книге также затронуты вопросы подбора компьютерной техники для эксплуатации CAD/CAE-продуктов. Мы надеемся, что приведенные рекомендации будут полезны в профессиональной деятельности читателей.

Соглашения

Для SolidWorks имеется русскоязычная версия. Поскольку именно ее традиционно используют в России, то за редким исключением команды и меню SolidWorks приводятся на русском языке.

Для COSMOSWorks также есть русскоязычная версия. Однако она содержит ряд некорректно переведенных терминов. По этой причине в России иногда используется также англоязычная версия программы. Поэтому практически всегда мы будем сопровождать русские термины их оригинальным вариантом, который дается в скобках. Кроме того, некоторые серьезные неточности перевода будут исправлены в замечаниях, расположенных в тексте.

Другие программы пока не имеют русскоязычного интерфейса и фирменного перевода технической документации. Поэтому команды, пункты меню и термины, встречающиеся в них, приведены на английском языке, а русский перевод дается в скобках при первом упоминании той или иной команды, а впоследствии — в случаях, когда это облегчает понимание описываемых процессов. При решении прикладных задач перевод иногда не приводится. Некоторые технические термины, имеющие установившиеся аналоги в русском языке, после перевода используются только в русскоязычном варианте.

Расчеты выполняются для геометрических моделей, построенных посредством SolidWorks. Предполагая, что читатель, по крайней мере, в общих чертах, знаком с этой программой (надо сказать, что для чтения вполне хватит первичных познаний), мы не будем рассматривать элементарные построения. Однако в ситуациях, когда геометрия "управляет" расчетом, является результатом расчета или же получена посредством специфических приемов, процесс ее формирования будет приведен достаточно подробно.

Благодарности

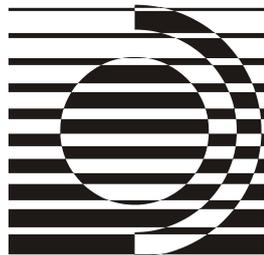
Авторы благодарны своим коллегам — сотрудникам фирм SolidWorks Russia (Москва) и ООО "NIKA Software" (Москва) — за помощь в реализации проекта.

Некоторые геометрические модели изделий, а также их расчеты, рассматриваемые в книге, выполнены в процессе взаимодействия с фирмами и предприятиями. Авторы выражают признательность сотрудникам этих организаций за помощь. Если используется информация, представляющая существенный интерес, мы упоминаем эти случаи.

Контактная информация

Авторы будут благодарны читателям за пожелания и замечания по данной книге и по теме CAD/CAE. Направляйте ваши письма в адрес редакции **mail@bhv.ru**. Информация об обновлениях программных продуктов, примеры решения задач, другие вопросы, связанные с темой CAD/CAE, доступны на Web-сайтах **<http://www.solidworks.ru>**, **<http://www.nika.biz>**.

ГЛАВА 1



SolidWorks как база для инженерных приложений

В этой главе мы кратко рассмотрим особенности использования системы SolidWorks как основы построения интегрированной среды моделирования и анализа.

1.1. Интегрированные CAD/CAE-системы

В последнее время четко обозначилась тенденция группирования инструментов геометрического моделирования и расчетных программ в интегрированные системы. Одной из фирм, положивших начало этому процессу, была РТС (Parametric Technology Corporation), внедрившая в продукт Pro/Engineer модули расчета на прочность методом конечных элементов, процедуры кинематического и динамического анализа. Однако поскольку РТС помещала "внешние" продукты в базовую систему под своей торговой маркой (покупая авторские права или на основе партнерских соглашений), ограничивая при этом доступ к интерфейсу разработки приложений (API) для "свободных" разработчиков, то номенклатура приложений практически не расширялась. Фирма Dassault Systems также внедрила в Catia V4 модуль расчета на прочность методом конечных элементов, причем его функциональность позволяла решать широкий круг задач и была на момент начала девяностых годов сравнима с той, которую имели универсальные пакеты конечно-элементного анализа. Однако сторонние разработчики не могли получить доступ к процедурам программирования без согласия владельца базового пакета, требовалось также приобретение лицензий на работу с процедурами API. Кроме того, развитие прикладных приложений сдерживалось дороговизной как самой CAD-системы, так и аппаратных средств — графических рабочих станций на базе RISC-процессоров.

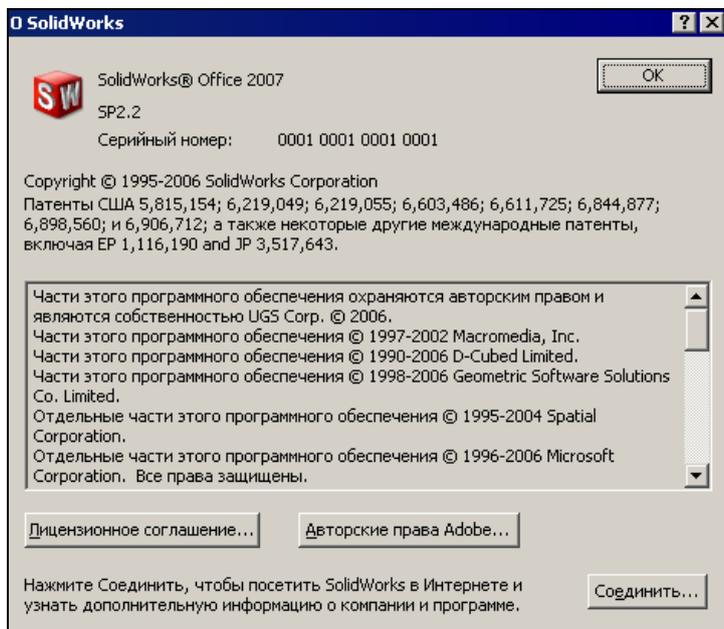


Рис. 1.1. Информационная панель SolidWorks

Ситуация изменилась с появлением системы SolidWorks (информационная панель программы показана на рис. 1.1), которая практически с момента рождения имела открытый API. На первом этапе это стимулировало разработчиков, которые создавали новые продукты или развивали уже существующие, но имеющие примитивный интерфейс пользователя. Функциональная графическая среда и доступ к математическому аппарату для обработки геометрии радикально ускоряли создание коммерческих программ. При этом разработчики не были обязаны, по крайней мере, до этапа коммерческой реализации, вступать в какие-либо официальные отношения с фирмой SolidWorks (за исключением, разумеется, приобретения лицензии на программу). С начала нового тысячелетия развитие интегрированных систем пошло "в режиме самовозбуждения". SolidWorks стал крайне популярен, вовлекая в свою орбиту тысячи новых пользователей. В то же время, "самостоятельные" САЕ-системы подошли к некоему "порогу насыщения" рынка, когда практически все профессиональные расчетчики уже обзавелись какой-либо программой. Поэтому фирмы-производители стали рекрутировать новых потребителей из среды инженеров-проектировщиков, внедряясь в массовые системы проектирования через создание "сопутствующих" инструментов. Сейчас остались считанные единицы расчетных программ, которые не имели бы в большей или меньшей степени усеченного (или, если более корректно, адаптированного) варианта, функционирующего как приложение SolidWorks или какой-

либо другой CAD-системы. Последняя, очевидно, должна иметь достойную внимания пользовательскую базу. Процесс зашел настолько глубоко, что сначала в SolidWorks 2003 появились "бесплатные" модуль **COSMOSXpress**, являющийся инструментом расчета на прочность начального уровня, и процедура **Физическая динамика**, предназначенная для "оживления" сборок. Версия 2005 года обогатилась процедурой **MoldflowXpress**, выполняющей элементарную оценку проливаемости форм при изготовлении тонкостенных деталей из термопластов.

Можно, конечно, дискутировать о степени адекватности результатов, получаемых подобными фрагментами "больших" систем, однако маркетинговая эффективность несомненна и взаимна: SolidWorks приобретает имидж всеохватывающего орудия, а пользователь ненавязчиво втягивается в сферу влияния производителей инженерных программ.

Следующей маркетинговой инициативой со стороны фирмы SolidWorks стало появление конфигурации SolidWorks Office Premium, в которую за относительно небольшую цену по сравнению с SolidWorks Office включены COSMOSWorks Designer (он выполняет только статический анализ) и COSMOSMotion.

Еще одной тенденцией стало поглощение производителями универсальных систем проектирования фирм, специализирующихся на расчетных пакетах. Если последние не смогли расширить пользовательскую базу, то коллективы становятся объектом интереса тех, у кого есть свободные финансовые ресурсы. Результат может быть двояким. С одной стороны, разработчики могут получить дополнительное финансирование, доступ к математике, как правило, более совершенной (с точки зрения геометрического моделирования и интерфейсов) системе, и функциональность расчетных модулей или приложений (после поглощения они выбывают из категории самостоятельных программ) станет шире. С другой — не исключен вариант того, что развитие, по крайней мере, в течение некоторого времени, ограничится отработкой интерфейса с неким базовым пакетом, модификацией системы лицензирования, разнообразными рекламными акциями в виде создания всевозможных комбинаций (пакетов, конфигураций...) модулей CAD/CAE. Есть, кстати, и более мягкая форма подчинения малых (иногда — относительно) коллективов более крупным. Это покупка авторских прав на программный продукт. В любом случае результат — лишение или ограничение возможности самостоятельно определять техническую политику и переход на каналы дистрибуции нового собственника.

Аналогичные процессы происходят и в сообществе разработчиков расчетных пакетов. Те, кто имеет большой капитал (а это, как правило, производители "универсальных" инструментов), поглощают (в разных формах) коллективы, решающие "частные" задачи. Результатом являются пакеты так называемого

мультидисциплинарного анализа. Соотношение между маркетинговыми и объективно целесообразными (с точки зрения пользователя) компонентами может быть самым различным.

Тем не менее работа в интегрированной среде проектирования и расчета, помимо потенциального улучшения результата, является весьма увлекательным занятием. Это требует новых навыков, связанных с организацией рационального взаимодействия нескольких инструментов. Рассмотрим некоторые возможности SolidWorks, обеспечивающие эффективное использование расчетных приложений.

1.2. Твердотельное моделирование

SolidWorks изначально создавался как система твердотельного параметрического моделирования. Программа содержит всю необходимую номенклатуру инструментов, причем некоторые возможности крайне эффективны для разработки объектов, ориентированных на последующее использование программ расчета. Это проектирование изделий из листового материала, сварные детали. Они позволяют получить модели, весьма близкие к требованиям данных инструментов. Подмножество функций, ориентированных на работу с криволинейными объектами: инструменты сплайнов, команды создания тел, имеющих криволинейные поверхности, процедуры обеспечения гладкости, построения сопряжений, позволяют — в абсолютном большинстве случаев — с приемлемой точностью готовить модели для аэрогидродинамического анализа или светотехники (в задачах расчета на прочность качество представления поверхности несколько менее принципиальный фактор).

Начиная с версии 2003 года, в SolidWorks появился многотельный режим. Он существенно расширил возможности пользователя при создании геометрических моделей. Однако далеко не все расчетные системы поддерживают эту функциональность. Например, COSMOSMotion обрабатывает многотельные детали, начиная с версии 2005 года. COSMOSWorks делает это, начиная с 2006 года. При этом функциональность при работе в многотельной детали, по сути, эквивалентна той, которая предусмотрена для сборки.

SolidWorks позволяет создавать конфигурации объектов. Интегрированные модули в абсолютном большинстве адекватно обрабатывают эту функциональность, позволяя рассчитывать разнообразные исполнения расчетных моделей, а, например, COSMOSWorks, начиная с версии 2005 года, способен одновременно отображать результаты нескольких расчетов, выполненных в том числе и в различных конфигурациях SolidWorks. Кроме того, параметрическое представление геометрии в CAD-системе позволило органично включить в COSMOSWorks модуль параметрической оптимизации, а также инструмент сценариев проектирования. Последние предназначены для изучения того, как

влияет изменение формы, граничных условий, типов материалов и т. д. на свойства конструкции. Упомянув о материалах, отметим, что одно из направлений развития SolidWorks, связанное с более полным учетом "визуальных" свойств материалов, нашло логическое продолжение в интегральной базе данных, включающей как информацию о цвете, прозрачности, текстуре, так и плотности, характеристиках упругости и прочности. Начиная с версии 2006 года, тепловые характеристики твердых тел автоматически передаются в COSMOSFloWorks.

Замечание

В COSMOSWorks общим с SolidWorks является подмножество механических характеристик, описывающих упругие свойства, прочность, плотность, а также тепловые характеристики — удельная теплоемкость, теплопроводность и термоупругие — коэффициент теплового расширения. Для редактирования свойств анизотропных материалов SolidWorks следует использовать редактор материалов COSMOSWorks. После этого данные свойства будут корректно отображаться в редакторе SolidWorks.

В COSMOSMotion из SolidWorks передаются плотность и характеристики упругости и прочности. Однако модулем реально может использоваться только плотность.

COSMOSFloWorks заимствует из SolidWorks только характеристики плотности, а также удельную теплопроводность и теплоемкость. Зависимость данных параметров от температуры в редакторе материалов SolidWorks назначить невозможно.

Замечание

Передача свойств их геометрического редактора в расчетные модули является однонаправленной. Будучи переназначены в ходе создания расчетных моделей, они в SolidWorks не передаются.

Одним из радикальных нововведений версии является ввод конечных элементов балок/стержней. Они генерируются исключительно на базе тел, построенных посредством команд подмножества **Сварные конструкции**.

Даже перечислить все возможности SolidWorks, которые могут быть полезны при создании расчетных моделей, очень трудно. Мы рекомендуем обратиться к документации программы, поскольку квалифицированная работа с приложениями требует уверенного владения базовой функциональностью.

1.3. Поверхностное и гибридное моделирование

По сравнению с системами аналогичного уровня SolidWorks имеет наиболее развитые возможности для создания и редактирования поверхностей, а также

совместной обработки поверхностей и твердых тел. Поверхностное представление геометрии активно используется в COSMOSWorks для создания на этой базе оболочечных расчетных моделей. Также присутствуют функции для автоматизированного вычленения срединной поверхности для твердотельных объектов, которые целесообразно рассчитывать по оболочечной модели. SolidWorks обладает всеми необходимыми инструментами для доводки получившихся результатов согласно условиям расчетных программ. Кроме того, сам COSMOSWorks в состоянии генерировать сетку оболочечных элементов на базе срединных поверхностей. Эта функция — плод совместной деятельности фирм SRAC и SolidWorks. Разумеется, при создании исходного проекта должны соблюдаться определенные условия для ее эффективного функционирования. Также интеграция программ подразумевает передачу части работы, связанной с подготовительными операциями при создании сетки конечных элементов, на SolidWorks. Именно его функции следует задействовать для модификации поверхностей с целью создания корректных сеток из оболочечных элементов.

Появившиеся в версии 2007 года балочные и стержневые модели COSMOSWorks функционируют на базе объектов, созданных посредством команд группы **Сварные детали** SolidWorks. Результатом их работы является деталь, состоящая из нескольких тел. Алгоритмы геометрического моделирования и расчета достаточно тесно связаны, что предъявляет специфические требования к качеству подготовки геометрии.

В детали SolidWorks может присутствовать как твердотельная, так и поверхностная информация. Интегрированные расчетные модули естественным образом учитывают это обстоятельство. Некоторые, например, COSMOSWorks могут обрабатывать в одной расчетной модели оба типа информации. Однако то, что для построения, например поверхности, использовались твердые тела, для программы абсолютно безразлично.

То же можно сказать про приложение BlankWorks, где источником информации может быть как совокупность поверхностей, так и грани тел. Весьма простой интерфейс данной программы подразумевает активное использование функциональности SolidWorks для подготовки подходящей исходной информации. Если, например, в COSMOSWorks и COSMOSFloWorks для создания сеток присутствует функциональность, позволяющая в той или иной степени управлять этим процессом, то BlankWorks полностью "полагается" на результат работы SolidWorks.

Гибридные геометрические модели активно используются в задачах светотехнического анализа и проектирования. Здесь разделение функций следующее. Если объект является отражателем, причем имеет при этом сложную форму, как, например, сегментная фара, то как для оператора при ее проекти-

ровании (с точки зрения светотехнических характеристик), так и для программы расчета более рационально иметь поверхностное представление. После удовлетворения функциональных требований на его базе можно построить объемную модель, которая будет использоваться для компоновки, разработки оснастки и т. д. При сохранении ассоциативной связи между разными представлениями одного и того же изделия процесс модификации не вызывает затруднений. Нередко возникает обратная задача: расчет готового изделия с целью дальнейшего использования результатов (например, если создается осветительная система с несколькими одинаковыми источниками света). Тогда для упрощения анализа можно вычленить рабочие поверхности и именно их передавать в расчетную программу.

1.4. Работа в сборке

SolidWorks обладает самыми разнообразными возможностями для создания и модификации сборок. Расчетные приложения, соответственно, эту функциональность учитывают. Как и для моделей твердотельных и поверхностных деталей, ответственность за корректную подготовку исходных данных для сборок в подавляющей части возлагается на CAD-систему. Это значит, что взаимное положение деталей, как в смысле геометрии, так и в том, что касается назначения параметров их взаимодействия в физической модели, должно определяться посредством сопряжений. В явном виде они ни в одну программу, за исключением COSMOSMotion, не транслируются. Расчетные модули имеют дело исключительно с геометрией, но не с семантикой. COSMOSMotion в данном ряду является исключением. Его математический аппарат допускает отсутствие в модели сборки связи между деталями, но при этом операции, по сути идентичные тем, которые выполняются в SolidWorks, придется производить в процессе формирования механизма. После запуска расчета программа должна будет "собрать" сборку в соответствии с логикой, определенной в соединениях COSMOSMotion.

Визуализацию кинематики сборки можно получить в SolidWorks, не прибегая к дополнительным инструментам. Приводить ее в движение можно мышью или же посредством функции **Физическая динамика**. Доступны команды для проверки интерференции как в статическом, так и в динамическом состоянии, а также возможность визуализации движения, сопровождаемого входом деталей в контакт и выходом из контакта. Поэтому рекомендуется подвергнуть сборку проверке инструментами SolidWorks, а уже затем использовать расчетные процедуры. Все они весьма чувствительны к присутствию интерференции деталей. Начиная с версии 2006 года, модель движения, определенная в SolidWorks, автоматически воспринимается в COSMOSMotion, где созданные там движители и пружины можно модифицировать.

Последние версии SolidWorks обладают развитым набором команд для преобразования детали в сборку. Оно может осуществляться в режиме автоматизированного расчленения одного тела, а также базироваться на многотельном представлении. Такая схема построения исходных данных позволяет строить расчетную модель сборки, ассоциативно связанную с единственной деталью. Это весьма удобно, когда расчетная механическая модель предполагает контактное взаимодействие деталей с одинаковыми или различными физическими свойствами или же выполняется тепловой расчет с различными теплофизическими характеристиками материалов. Разумеется, можно изначально строить и рассчитывать сборку из "самостоятельных" деталей, однако, например, сварные конструкции иногда проектируются в режиме детали с последующей трансформацией в сборку.

COSMOSWorks и COSMOSFloWorks имеют набор опций для визуализации сборки в состоянии расчленения или в частично прозрачном состоянии с одновременным наложением диаграмм результатов. Эти команды также реализованы на базе возможностей SolidWorks.

Актуальным является вопрос о моделировании сборок, содержащих большое число деталей. Здесь следует выделить два аспекта. Первый связан с базовой функциональностью SolidWorks для построения геометрической модели. Здесь возможности программы непрерывно наращиваются, и в настоящее время большинство проблем в сборках с несколькими тысячами несложных деталей вполне решаемы при наличии адекватного аппаратного обеспечения. Кроме того, можно редактировать модели в режиме сокращенной сборки. Второй аспект связан с расчетом конструкций, состоящих из большого числа деталей. Здесь могут пригодиться возможности SolidWorks, позволяющие создавать специальные расчетные конфигурации сборок, в которых "нефункциональные" объекты отсутствуют (погашены), а оставшиеся специальным образом модифицированы с целью упрощения их геометрии. Более подробные рекомендации по увеличению производительности при использовании CAD/CAE-систем приведены в *главе 10*.

1.5. Работа в режиме чертежа

Ни одна из рассматриваемых программ не работает с чертежами. Однако некоторые технологические приложения, например, программы оптимального раскроя, создания программ УЧПУ для резки листового металла, в качестве исходной информации могут использовать как данные о развертке детали из листа, так и непосредственно чертежи. Кстати говоря, в комплект поставки SolidWorks входит прямой редактор DWGEditor для обработки DXF/DWG-файлов. Подчеркнем, что SolidWorks обладает всеми возможностями для оформления чертежей во многих системах стандартов, включая ЕСКД.

1.6. Обмен графической информацией

Один из источников быстрого распространения SolidWorks среди пользователей состоял в том, что программа имела широкий выбор трансляторов из популярных CAD-систем, а также универсальных графических форматов. Затем их число расширялось за счет новых интерфейсов, а для имеющихся инструментов выполнялась актуализация. Полная номенклатура входных форматов показана на рис. 1.2. Здесь обратим внимание, что возможность считывания файлов, созданных прикладными программами, зависит от их версии. Кроме того, файлы, созданные Catia V5 (они имеют расширение sgr), несут исключительно иллюстративную информацию и непригодны для их модификации или использования в составе сборки (трансляторы, которые осуществляют подобный перенос информации, существуют, однако в данной книге не рассматриваются). Для Autodesk Inventor, Mechanical Desktop и Pro/Engineer возможно полное или частичное (в зависимости от того, какие инструменты базовой системы были использованы) воссоздание дерева построения модели. Отметим, что импорт с семантикой реализован, как правило, для не слишком свежих версий программ-источников. В то же время аппарат обработки нейтральных форматов построен на последних релизах соответствующих продуктов, причем обновления версий графических файлов отслеживаются в пакетах обновлений (Service Packs) SolidWorks.

Побочным, но, как оказалось, очень важным следствием наличия развитых возможностей обмена графическими файлами, явилась простота (разумеется, относительная) организации интерфейса между прикладными программами и SolidWorks. Те из разработчиков программ, которые имеют достаточно ресурсов или же не имеют собственной графической оболочки, идут по пути интеграции своего математического аппарата и SolidWorks, используя, разумеется, процедуры API. Другой вариант, когда организуется скрытый от пользователя конвертер, позволяющий преобразовывать пространственную модель из Parasolid в формат прикладной программы напрямую или же через промежуточную модель, имеющую, например, формат STEP. В подавляющем числе случаев эти преобразования осуществляются посредством математики, имеющейся в SolidWorks.

Новым в версии 2007 года является встроенный механизм импорта данных пространственного сканирования в виде облака точек или триангуляционной сетки с автоматическим или полуавтоматическим созданием и сопряжением ограничивающих поверхностей. Далее на базе поверхностей может быть создано твердое тело, для которого работоспособны все команды работы с твердотельной информацией SolidWorks.

Также введены возможности обработки файлов Rhino (*.3dm), которые поддерживают NURBS и аналитические поверхности для элементов свободной

формы. SolidWorks может читать такие файлы, а при наличии установленной программы Rhino осуществлять редактирование файлов (при некоторых ограничениях функциональности) с выходом в этот модуль. Надо сказать, что этот тип графической информации используется не только при создании изделий бытового назначения, но и в программе проектирования светотехники LucidShare. В этом случае светотехнические поверхности, синтезированные посредством специализированных программных продуктов, могут быть переданы в SolidWorks для создания "конечного" изделия, не привлекая дополнительные инструменты.

```

Файлы SolidWorks (*.sldprt; *.sldasm; *.slddrw)
Деталь (*.prt; *.sldprt)
Сборка (*.asm; *.sldasm)
Чертеж (*.drw; *.slddrw)
DXF (*.dxf)
DWG (*.dwg)
Adobe Illustrator (*.ai)
Lib Feat Part (*.lfp; *.sldlfp)
Template (*.prt; *.asm; *.dot; *.drw; *.dot)
Parasolid (*.x_t; *.x_b; *.xmt_txt; *.xmt_bin)
IGES (*.igs; *.iges)
STEP AP203/214 (*.step; *.stp)
ACIS (*.sat)
VDAFS (*.vda)
VRML (*.wrl)
STL (*.stl)
Catia Graphics (*.cgr)
ProE Part (*.prt; *.prt; *.xpr)
ProE Assembly (*.asm; *.asm; *.xas)
UGII (*.prt)
Inventor Part (*.ipt)
Solid Edge Part (*.par)
Solid Edge Assembly (*.asm)
CADKEY (*.prt; *.ckd)
Add-Ins (*.dll)
IDF (*.emn; *.brd; *.bdf; *.idb)
Файлы сетки (*.nrm; *.scn; *.3ds; *.obj; *.stl; *.wrl; *)
Файлы PointCloud (*.xyz; *.txt; *.asc; *.vda; *.igs)
Файлы Rhino (*.3dm)
All Files (*.*)

```

Рис. 1.2. Форматы графических файлов, доступные для импортирования

Несколько уже круг возможностей для передачи результатов геометрии или результатов расчета из прикладной программы в SolidWorks. В числе рассмотренных в данной книге продуктов этой функциональностью обладает OptisWorks, который взаимодействует с геометрическим редактором SolidWorks в ходе оптической или светотехнической оптимизации, а также может генерировать траектории лучей в виде трехмерных эскизов. COSMOSMotion может создавать в SolidWorks эскизы, являющиеся траекториями движения заданных вершин геометрической модели. Эти траектории используются как для их анализа в SolidWorks, так и для генерации новых объектов, например кулачков.