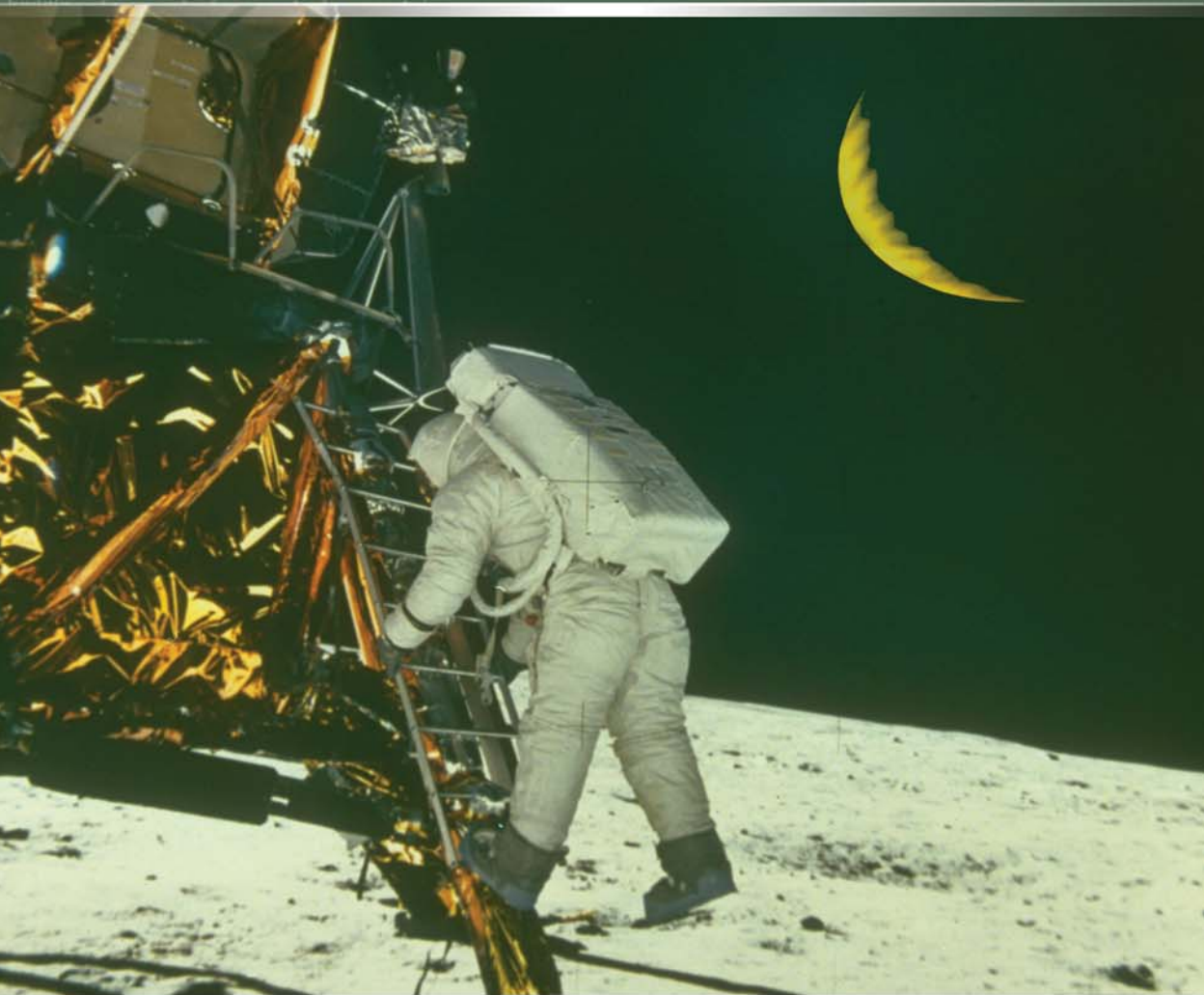


ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Алямовский А. А.

COSMOSWorks

Основы расчета конструкций
в среде SolidWorks



Для Windows XP/Vista

ОМК
ИЗДАТЕЛЬСТВО

УДК 004.4`274
ББК 32.973.26-018.2
A60

А60 **Алямовский А. А.**
COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 784 с., ил. (Серия «Проектирование»).
ISBN 978-5-94074-582-2

В данной книге рассматривается конечно-элементный пакет COSMOSWorks, интегрированный в CAD-систему SolidWorks. Представлено описание системы; функциональные возможности продукта рассмотрены с позиции инженерного расчета на прочность. Выделен круг задач, которые могут быть объектом расчета. Акцент сделан на проблемах, возникающих при использовании метода конечных элементов в задачах из области механики. Разобраны типовые вопросы конечно-элементного моделирования: контактная задача, соединения, тонкостенные конструкции, тепловой расчет и термоупругость, оптимальное проектирование. В качестве примеров приводятся расчеты канонических объектов, а также реальные инженерные проекты.

Приведены рекомендации по созданию адекватных моделей, по эффективному использованию программы во взаимодействии с SolidWorks, модулем динамического анализа COSMOSMotion, приложением для решения задач аэрогидродинамики и теплопередачи – COSMOSFloWorks, с другими приложениями SolidWorks. Показаны достоинства и ограничения, присущие интегрированным продуктам.

Книга содержит информацию по системе DesignSTAR, предназначенной для взаимодействия с такими CAD-системами, как SolidEdge и Autodesk Inventor. Затрагиваются вопросы выбора конфигурации ПК для MCAD/CAE-систем. Представлены результаты тестирования компьютеров на типовых задачах.

По сравнению с изданием от 2004 года материал существенно переработан и дополнен. Изложение ведется на базе версии продуктов 2006, 2007 года, интерфейс и функциональность которых претерпели существенные изменения. Уделено значительное внимание моделям с соединителями, гибридными сетками. Расширен круг примеров, связанных с контактными задачами, физической нелинейностью, комплексными проблемами механики твердого тела, кинематики, аэрогидродинамики и теплопередачи. Также исправлены замеченные неточности и недоработки.

Книга будет полезна инженерам, аспирантам и студентам старших курсов в качестве практического пособия по методам численного моделирования в механике. Также она может служить справочником по системе COSMOSWorks.

УДК 004.4`274
ББК 32.973.26-018.2

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 5-94074-582-2

© Алямовский А. А.
© Оформление ДМК Пресс, 2010

Содержание

Предисловие	16
Введение	18
Аудитория	19
Предназначение книги	19
Соглашения	20
Благодарности	21
Контактная информация	21
SolidWorks и COSMOSWorks – инструменты инженера	22
Комплектация	23
Системные требования	27
Установка	29
Метод конечных элементов	35
Первые результаты	37
Глава 1	
Основы COSMOSWorks	48
1.1. Интерфейс	50
1.1.1. Составные части	50
1.1.2. Менеджер проекта	50
1.1.3. Меню	53
1.1.4. Панели инструментов	53
1.2. Взаимодействие с SolidWorks	58
1.3. Решаемые задачи и виды анализа	62
1.3.1. Упражнения	62
1.3.2. Параметры	63
1.3.3. Сценарии проектирования	64
1.4. Материалы	66
1.5. Критерии прочности	71
1.5.1. Номенклатура	71
1.5.2. Критерий Мизеса	72
1.5.3. Критерий максимальных касательных напряжений	74

1.5.4. Критерий Мора-Кулона	74
1.5.5. Критерий максимальных нормальных напряжений	75
1.6. Системы координат и справочная геометрия	76
1.7. Единицы измерения	77
1.8. Дискретизация	78
1.8.1. Общие положения	78
1.8.2. Порядок элементов и точность расчета	81
1.8.3. Сетка твердотельная и сетка поверхностная	82
1.8.4. Параметры настройки	83
1.8.5. Что такое качественная сетка?	86
1.8.6. Локальное уплотнение сетки	91
1.8.7. Специальные приемы	94
1.9. Граничные условия	102
1.9.1. Общие положения	102
1.9.2. Кинематические граничные условия	105
1.9.3. Статические граничные условия	108
1.9.4. Рабочая нагрузка	113
1.9.5. Дистанционные нагрузки (граничные условия на удалении)	117
1.9.6. Массовые нагрузки	129
1.9.7. Симметрия	133
1.9.8. Задача теплопроводности	139
1.9.9. Характерные ошибки	139
1.10. Процедуры решения	140
1.11. Представление результатов	141
1.11.1. Параметры отображения	142
1.11.2. Сечения	148
1.11.3. Изоповерхности	151
1.11.4. Анимация	152
1.11.5. Численные значения	153
1.11.6. Значение в точке	157
1.11.7. Сохранение результатов в графических файлах	159
1.11.8. Протоколы сценариев проектирования	160
1.11.9. Отчеты	167

Глава 2

Пространственная модель	169
2.1. 3D-детали	170

2.1.1. Особенности моделирования	170
2.1.2. Точность и эффективность	176
2.2. 2D-детали	178
2.3. Исходные данные – обязательный набор	180
2.4. Характерные ошибки	181
2.5. Результаты и их интерпретация	182
2.5.1. Состав результатов	182
2.5.2. Напряжения в узлах и в элементах	183
2.5.3. Деформированная модель	185
2.5.4. Локальные системы координат для результатов	187
2.5.5. Главные напряжения	190
2.5.6. Сила реакции	191
2.5.7. Критерии прочности и запасы прочности	196
2.5.8. Ошибка вычисления напряжений	200
2.5.9. Адаптивные сетки в моделях на базе твердых тел	203

Глава 3

Поверхностная модель	205
3.1. Функциональные возможности	206
3.2. Особенности моделирования	208
3.2.1. Построение сетки	208
3.2.2. Граничные условия	218
3.2.3. Симметрия	221
3.3. Обязательный набор исходных данных	227
3.4. Параметры настройки	227
3.5. Характерные ошибки	229
3.6. Результаты и их интерпретация	229
3.7. Гибридные сетки – сопряжение элементов твердых тел и оболочек	238

Глава 4

Критические нагрузки и формы потери устойчивости	251
4.1. Функциональные возможности	252
4.2. Особенности моделирования	255
4.3. Обязательный набор исходных данных	259
4.4. Параметры настройки	260

4.5. Анализ	261
4.6. Точность	263
4.7. Характерные ошибки	265
4.8. Результаты и их интерпретация	266

Глава 5

Собственные частоты и формы колебаний

5.1. Функциональные возможности	270
5.2. Особенности моделирования	271
5.3. Обязательный набор исходных данных	273
5.4. Параметры настройки	273
5.5. Анализ	275
5.6. Точность	276
5.7. Характерные ошибки	276
5.8. Результаты и их интерпретация	276

Глава 6

Тепловой расчет

6.1. Функциональные возможности	280
6.2. Граничные условия	282
6.3. Особенности моделирования	289
6.3.1. Стационарный расчет	289
6.3.2. Нестационарный расчет	290
6.3.3. Реализация корректных граничных условий	292
6.3.4. Построение сетки	293
6.4. Обязательный набор исходных данных	294
6.5. Настройки	294
6.6. Анализ	296
6.7. Точность	296
6.8. Характерные ошибки	296
6.9. Результаты и их интерпретация	300
6.10. Задача термоупругости	301

Глава 7

Оптимизационная задача

7.1. Постановка задачи и основные алгоритмы	310
7.2. Обязательный набор исходных данных	317

7.3. Точность и сходимость	318
7.4. Параметры настройки	319
7.5. Особенности моделирования	321
7.6. Характерные ошибки	322
7.7. Результаты и их интерпретация	322

Глава 8

Сборки	329
8.1. Функциональные возможности	330
8.2. Обязательный набор исходных данных	332
8.3. Ограничения функциональности	333
8.4. Особенности моделирования	334
8.4.1. Адекватные модели. Общие рекомендации	335
8.4.2. Дискретизация сборок	335
8.5. Граничные условия	341
8.5.1. Общие положения	341
8.5.2. Взаимодействие деталей и контактные граничные условия	343
8.5.3. Задача собственных значений для механизмов	346
8.5.4. Оптимизация	349
8.6. Монолитные сборки	350
8.7. Контактная задача	351
8.7.1. Интерфейс	352
8.7.2. Общие положения	356
8.7.3. Базовые типы контакта и вопросы численной реализации	357
8.7.4. Перемещения малые и большие	368
8.7.5. Контакт с трением и без него	372
8.7.6. Горячая посадка	373
8.7.7. Контактная податливость	377
8.7.8. Кинематика	378
8.8. Тепловой расчет сборок	378
8.8.1. Функциональные возможности	378
8.8.2. Контактные граничные условия	379
8.8.3. Контактное тепловое сопротивление	384
8.8.4. Особенности моделирования излучения	389
8.9. Характерные ошибки	402

8.10. Результаты и их интерпретация	403
8.10.1. Интерференция деталей в деформированной сборке	403
8.10.2. Проблема осреднения напряжений на границе контакта	404
8.10.3. Контактные напряжения и точность расчета	406
8.10.4. Особенности применения функции Design Check	408
8.11. Методология расчета	410
8.12. Виртуальные объекты сборок	419
8.12.1. Соединитель Rigid	421
8.12.2. Соединитель Elastic Support	423
8.12.3. Условие контакта Virtual Wall	431
8.12.4. Соединитель Pin	434
8.12.5. Соединитель Bolt	445
8.12.6. Соединитель Spot Welds	463
8.12.7. Соединитель Spring	467
8.12.8. Соединитель Link	474
8.12.9. Выводы	477

Глава 9

Прикладные задачи	479
9.1. Разъемные соединения	480
9.2. Сварные соединения	485
9.3. Анизотропные конструкции	494
9.4. Сосуды давления и трубопроводы	503
9.5. Расчет дисков колес	507
9.6. Ферменные конструкции	517
9.7. Термоупругость теплообменника – решение в COSMOSWorks	523
9.8. Термоупругость отражателя – связь с COSMOSFloWorks	527
9.9. Действие ветровых нагрузок – связь с COSMOSFloWorks	559
9.10. Динамика механизмов и импорт данных	568

Глава 10

Специальные методы моделирования	601
10.1. Имитация падения	602

10.1.1. Функциональные возможности	602
10.1.2. Особенности моделирования	602
10.1.3. Обязательный набор исходных данных	606
10.1.4. Параметры настройки	607
10.1.5. Анализ	608
10.1.6. Точность	609
10.1.7. Характерные ошибки	609
10.1.8. Результаты и их интерпретация	610
10.1.9. Моделирование падения кружки	620
10.2. Расчет на усталость	625
10.2.1. Функциональные возможности	625
10.2.2. Особенности моделирования	626
10.2.3. Обязательный набор исходных данных	630
10.2.4. Параметры настройки	632
10.2.5. Анализ	634
10.2.6. Точность	638
10.2.7. Характерные ошибки	639
10.2.8. Результаты и их интерпретация	639
10.3. Консультант анализа	640
10.4. Библиотека анализов	643

Глава 11

Нелинейный анализ –

COSMOSWorks и COSMOSDesignSTAR..... 647

11.1. Функциональные возможности COSMOSDesignSTAR	648
11.2. Границы применимости линейной и нелинейной модели	648
11.3. Большие перемещения	650
11.3.1. Изгиб пластины	650
11.3.2. Витая пружина	659
11.4. Физическая нелинейность	661
11.5. Взаимодействие колеса с грунтом	667
11.5.1. Постановка задачи	667
11.5.2. Кинематические граничные условия	669
11.5.3. Адаптация геометрической модели	671
11.5.4. Параметры материалов	674
11.5.5. Нагрузки	675

11.5.6. Настройки вычислительного процесса	677
11.5.7. Сетка	678
11.5.8. Дополнительные настройки решателя	680
11.5.9. Результаты и их интерпретация	680
11.5.10. Выводы	688
11.6. Ограничения функциональности нелинейного расчета по сравнению с линейным	689
11.7. Дополнительные интерфейсные возможности COSMOSDesignSTAR	689

Глава 12

Рациональные модели SolidWorks	691
12.1. Общие рекомендации	692
12.2. Управление конфигурациями	692
12.3. Работа с листовым материалом	693
12.4. Преобразования «твердое тело → поверхность»	698
12.5. Геометрические поверхностные модели	699
12.6. Геометрические модели сборок и деталей из нескольких тел	701
12.6.1. Расчленение и слияние	702
12.6.2. Сопряжения	706
12.6.3. Контроль	706
12.7. Импортированная геометрия	707

Глава 13

Вокруг COSMOSWorks	711
13.1. Какой компьютер лучше?	712
13.2. Интерфейсы	717
13.2.1. Конечно-элементная информация	717
13.2.2. Геометрия	718
13.2.3. Граничные условия	719
13.3. Полезные программы и утилиты	719
13.3.1. Очистка модели	719
13.3.2. Диагностика геометрии	720
13.4. Библиотеки	720
13.5. COSMOSM	722
13.6. Продукты-аналоги	722

13.6.1. Функциональные возможности	722
13.6.2. ANSYS Workbench в конфигурациях DesignSpace и Professional	724
13.6.3. MSC.visualNastran Desktop 4D	726
13.6.4. CATIA V5 & Structural Analysis	727
13.6.5. Pro/ENGINEER & Pro/MECHANICA.....	728
13.7. Другие вычислительные модели	728
13.7.1. Кинематика и динамика – COSMOSMotion	729
13.7.3. Газодинамика и теплопередача – COSMOSFloWorks	730
13.7.4. Электромагнетизм – COSMOSEMS	733
13.7.2. Инструменты генерации и библиотеки стандартных объектов	733
13.8. Проблемы и перспективы	734
Заключение	736

Приложение I

Версия 2007 года	737
I.1. Изменения общей функциональности	737
I.1.1. Объекты справочной геометрии, созданные вне контекста сборки	737
I.1.2. Сообщения об ошибках при расчете	738
I.1.3. Иконки в меню	738
I.1.4. Поиск контактных пар с зазорами	738
I.1.5. Диалоговое окно Options	738
I.1.6. Подвижная легенда на диаграммах	738
I.1.7. Управляемая структура Менеджера программы	739
I.1.8. Предельные значения в библиотеке анализов	739
I.1.9. Чувствительные к щелчкам мыши символы на экране	739
I.1.10. Локализация настройки Ignore clearance	739
I.1.11. Выделение цветом обязательных свойств в диалоговом окне Material	739
I.2. Изменения функциональности для граничных условий	739
I.2.1. Соединитель Spring	739
I.2.2. Соединитель Bolt	740
I.2.3. Соединитель Bearing	741

I.2.4. Соединитель Spot Weld	743
I.2.5. Циклическая симметрия	743
I.3. Изменения в процедурах формирования и обработки сетки конечных элементов	750
I.3.1. Переносимые настройки сетки	750
I.3.2. h-адаптивность при расчете сборок	750
I.3.3. Оценка времени оставшегося до завершения построения сетки	750
I.3.4. Улучшения в построении сетки для оболочек	751
I.3.5. Визуализация параметров, связанных с качеством сетки	751
I.4. Изменения функциональности в зависимости от типа анализа	752
I.4.1. Следящие нагрузки в нелинейном анализе	752
I.4.2. Сила свободного тела	754
I.4.3. Удаленные массы для анализов: статического, резонансного, устойчивости	756
I.4.4. Рестарт для нелинейного анализа	758
I.4.5. Трение в нелинейном анализе	758
I.4.6. Соединители в нелинейном анализе	758
I.4.7. Исключение решателя FFE	758
I.4.8. Автоматический выбор решателя	758
I.4.9. Прогноз времени решения	758
I.4.10. Локальное влияние опции Ignore clearance for surface contact	759
I.4.11. Функциональности опции Use inplane effect	759
I.4.12. Учет больших перемещений в моделях с болтовыми соединениями	759
I.4.13. Пластическая модель с кинематическим упрочнением при имитации падения	759
I.4.14. Анализ сварных конструкций посредством балочных/стержневых моделей	759
I.5. Изменения в представлении результатов	768
I.5.1. Переключение между визуализацией результатов и геометрии	768
I.5.2. Отображение расстояния между двумя узлами	768
I.5.3. Автоматическое выделение предельных значений в результатах	768

1.5.4. Процедура Design Check для сборок	768
1.5.5. Функциональность команды Probe	768
1.5.6. Моменты реакции для оболочек	769
1.5.7. Управление диаграммами	769
1.5.8. Визуализация посредством процедуры eDrawings	769
1.5.9. Управление сечениями посредством перемещения указателей	770
1.5.10. Закрашивание областей с напряжениями выше предела текучести	770
1.6. Изменения в системе лицензирования	770
Предметный указатель	771

ОСНОВЫ COSMOSWorks

1.1. Интерфейс	50
1.2. Взаимодействие с SolidWorks	58
1.3. Решаемые задачи и виды анализа	62
1.4. Материалы	66
1.5. Критерии прочности	71
1.6. Системы координат и справочная геометрия	76
1.7. Единицы измерения	77
1.8. Дискретизация	78
1.9. Граничные условия	102
1.10. Процедуры решения	140
1.11. Представление результатов	141

В данной главе содержится общее описание программного продукта. Приводится информация, достаточная как для его эксплуатации, так и для понимания функциональных возможностей и пределов применимости.

1.1. Интерфейс

В этом разделе вы найдете описание всех компонентов интерфейса, сопровождаемое иллюстрациями, на которых представлены различные элементы управления. Также вы получите рекомендации по эффективному использованию элементов интерфейса.

1.1.1. Составные части

У COSMOSWorks стандартный Windows-интерфейс. В пакете предусмотрены Manager (Менеджер проекта), меню и панели инструментов. При щелчке правой кнопкой мыши по какому-либо элементу – например, Менеджеру или графическому окну – появляется контекстное меню, содержащее функции, доступные для работы с данным объектом. Контекстное меню графического окна появляется только в том случае, если там отображаются результаты расчета независимо от их содержания. Если же пользователь находится в окне SolidWorks, щелчок правой кнопкой мыши активизирует контекстные меню элементов SolidWorks.

1.1.2. Менеджер проекта

Фактически Менеджер – это типичное для современных программ дерево проекта (в отличие от настоящих деревьев – растущее вниз). Менеджер находится в правой части экрана, как показано на рис. 1.1. Корень – деталь или сборка. Ветви первого уровня – блоки, соответствующие различным упражнениям (**Design Studies**). Также на первом уровне находится пиктограмма Parameters (Настройки (Таблица параметров)), которая располагается сразу ниже корня.

Ветви второго уровня растут, соответственно, из своих «корней» – упражнений. Они представлены в виде папок и содержат исходные данные для упражнения или результаты расчетов по нему. В зависимости от вида упражнения к числу этих папок могут относиться:

- **Solids** (Тела) – детали, телам которых назначаются материалы;
- **Shells** (Оболочки) – оболочки, которым назначаются материалы и толщины;
- **Load/Restraint** (Нагрузка/Ограничение) – граничные условия;
- **Design Scenario** (Сценарии проектирования). Размещается в дереве после папок с упражнениями;
- **Contact/Gaps** (**Контакт/Зазоры**);
- **Mesh** (Сетка конечных элементов).

От ветвей второго уровня отходят только «листья». Например, папки **Solids** (Тела) и **Shells** (Оболочки) содержит «листья» – тела с назначенными для них материалами; папка **Load/Restraint** (Граничные условия) – **Pressure1** (Давление1), ..., **Restraint1** (Закрепление1).



Рис. 1.1. Менеджер проекта

Папки для исходных данных автоматически появляются при создании упражнений, а их содержимое заполняется по мере ввода данных. Папки для результатов создаются и частично заполняются после успешного расчета. Дальнейшее их заполнение производится пользователем по мере получения доступа к результатам.

Для работы со сборками или деталями, состоящими из нескольких тел, в Менеджере предусмотрена папка **Contact/Gaps** (Контакт/Зазоры), содержимое которой имеет соответствующие аналоги в меню – одноименная команда и на панели инструментов **Main** (Основные функции).

После удачного завершения упражнения появляются папки, которые в зависимости от типа упражнения содержат результаты расчетов:

- **Report** (Отчет);
- **Stress** (Усилие сжатия (Напряжение));
- **Strain** (Напряжение (Деформация));
- **Displacement** (Перемещение);
- **Design Check** (Проверка прочности);
- **Deformation** (Деформация (Деформированный вид)); в зависимости от типа упражнения – вид в статически нагруженном состоянии, после потери устойчивости или в состоянии резонанса;
- **Thermal** (Термический (Тепловое));
- **Design Scenario Results** (Результаты сценария проектирования).

В Менеджере проекта вы можете производить следующие действия:

- сворачивать и раскрывать ветви, щелкая мышью по символам – («минус») и + («плюс») соответственно;
- переименовывать элементы содержимого папок так же, как это делается в Проводнике Windows;
- активизировать элемент двойным щелчком мыши;
- вызывать контекстное меню, соответствующее некоторому элементу, щелкнув по нему правой кнопкой мыши. Вообще говоря, один из рациональных способов освоения COSMOSWorks – при выполнении расчета вызывать контекстное меню, начиная от корневого элемента, и просматривать предлагаемые команды. Какая-то их часть является обязательной. Руководствуясь знанием предмета расчета, их нужно выделить и выполнить. Параллельно следует обратить внимание на опции, которые в данный момент доступны, но, возможно, необязательны, и проследить, как в процессе подготовки исходных данных и осуществления расчета меняется наполнение активных пунктов контекстного меню. Его содержимое практически идентично соответствующим пунктам падающего меню и меню, вызываемого из панелей **Tools** (Инструменты). Основная разница в наличии команд **Suppress/Unsuppress** (Погасить/Высветить элементы), **Show/Hide** (Отобразить/Скрыть), **Copy/Paste** (Копировать/Вставить). При этом операции копирования и вставки могут применяться как к отдельным элементам дерева, так и к целым папкам. Очевидно, что перед вставкой содержимого буфера обмена следует навести указатель мыши на объект, в который оно должно быть помещено;
- копировать данные и результаты, содержащиеся в «листьях» и папках. Как и в Проводнике, для этого достаточно передвинуть мышью при нажатой правой кнопке. Кнопка отпускается, когда указатель мыши оказывается над объектом, куда следует произвести вставку. Очевидно, что копировать можно только однородную информацию; за этим следит система. Типовые случаи – копирование материалов, граничных условий, сетки, данных об оболочках из одного упражнения в другое (например, из статического в собственные частоты). Ясно, что перенести информацию **Load/Restraint** (Нагрузки/Закрепления) в папку **Stress** (Напряжение) весьма проблематично. Исключение, как отмечено в Руководстве, представляют данные о температуре. Менеджер проекта не дает возможности непосредственно использовать результаты решения теплового упражнения (**Thermal Analysis**) в статическом расчете – задаче термоупругости. Для этого нужно воспользоваться вкладкой **Flow/Thermal Effects** (Эффекты потока/Тепловые эффекты) в окне **Static** данного упражнения.

В ходе заполнения «листьев» информацией система помечает их значком √. Это свидетельствует только о наличии неких данных, но не об их правильности и полноте.

1.1.3. Меню

При активизации модуля COSMOSWorks в меню **Add-Ins** пакета SolidWorks появляется новый пункт, показанный на рис. 1.2.

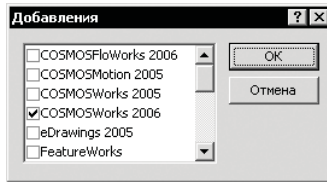


Рис. 1.2. Активизация COSMOSWorks как приложения SolidWorks

После нажатия клавиши **ОК** производится проверка лицензии. Если она в порядке (этот процесс занимает некоторое время), то интерфейс меняется следующим образом:

- в меню SolidWorks добавляется пункт COSMOSWorks;
- в Менеджере SolidWorks появляется вкладка с пиктограммой продукта;
- на экран выводятся панели инструментов COSMOSWorks.

Если же лицензия отсутствует, просрочена либо не соответствует электронному ключу, а также если установлена новая версия программы или сетевая лицензия неадекватна параметрам системы, выдается соответствующее предупреждение. В такой ситуации рекомендуется удалить пункт COSMOSWorks меню **Add-Ins** SolidWorks, убрав соответствующий флажок. В противном случае проверка лицензии будет производиться каждый раз при запуске SolidWorks, занимая ощутимое время.

Англоязычный вариант меню COSMOSWorks 2006 в развернутом состоянии показан на рис. 1.3а и русскоязычный – на рис. 1.3б. Отметим, что некоторые команды в локализованном варианте отсутствуют. Получить к ним доступ можно, используя контекстные меню Менеджера, а также панели инструментов.

1.1.4. Панели инструментов

Панели инструментов – стандартное средство управления Windows-приложениями. В них сосредоточены чаще всего используемые команды программы. Они полностью эквивалентны командам, вызываемым из меню. Параметры отображения задаются на закладке **General** (Общие) меню **Preferences** (Настройки), за вывод панелей на экран «отвечает» команда **Toolbars visible** (Отображение панелей инструментов). Назначение пиктограмм на панелях **Main** (Главная), **Loads** (Нагрузки), **Result Tools** (Инструменты для результатов) и **List Results** (Инструменты списка результатов) представлено в табл. 1.1–1.4. В таблицах в скобках после русского названия элемента интерфейса, присутствующего в локализованном варианте программы, может располагаться авторский перевод.

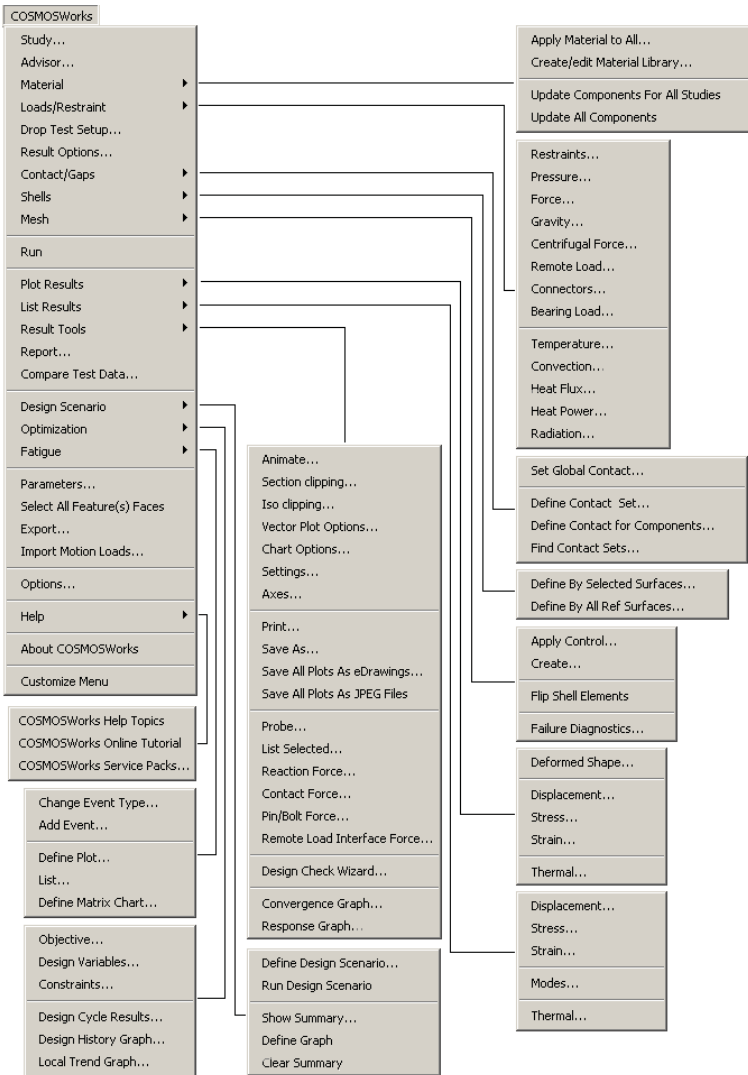


Рис. 1.3а. Структура меню COSMOSWorks –
англоязычная версия

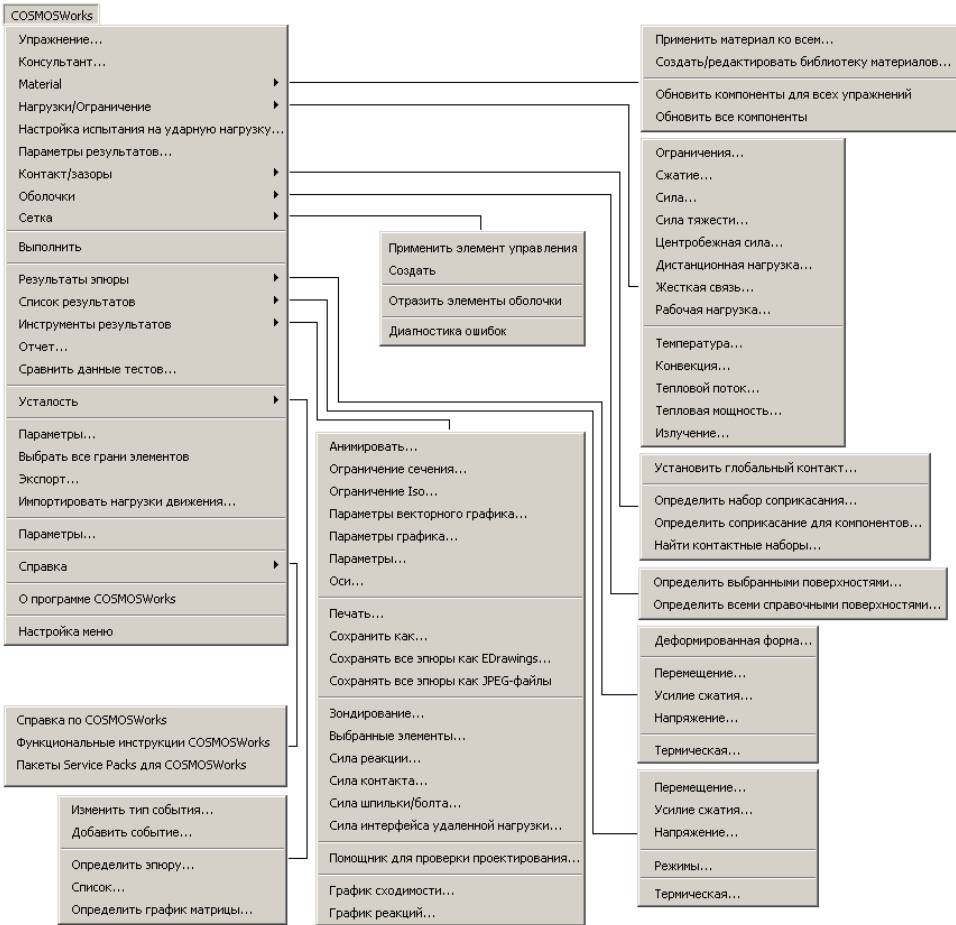


Рис. 1.36. Структура меню COSMOSWorks – локализованная версия

Таблица 1.1. Панель инструментов Main



Кнопка	Ярлык	Ярлык	Функция
	Study	Упражнение	Создание нового упражнения, изменение параметров или удаление имеющегося
	Apply Material to Selected Components	Применить материал для выбранных компонентов	Назначение материала или изменение характеристик уже назначенного для выбранных элементов папки Solids (Твердые тела) или Shells (Оболочки)
	Mesh	Сетка	Конечно-элементное разбиение модели, соответствующей активному упражнению. Перед построением сетки рекомендуется проверить действующие Mesh Preferences

Таблица 1.1. Панель инструментов **Main** (продолжение)








Кнопка	Ярлык	Функция
	Run	Выполнить
	Shell using surfaces	Оболочка ностей как оболочек
	Apply Mesh Control	Применить элемент управления кромок, вершин
	Set Global Contact	Установить глобальный контакт
	Define a Contact Set	Определить набор соприкосания
	Drop Test Setup	Настройка испытания на ударную нагрузку
	Result Options	Параметры результатов
		(Настройки сетки), Mesh Control (Управляющие элементы сетки), Contact Conditions (Условия контакта) (последнее – только для статического, нелинейного и теплового анализов) Расчет для активного упражнения Определение выбранных граней и поверхностей для управления сеткой для выбранных деталей, тел, граней, Назначение контактных граничных условий для сборки по умолчанию. Опция не действует на модели с гибридными сетками при сопряжении оболочек и тел. Некоторые типы контакта доступны только на уровне деталей и/или граней Назначение множеств контактных пар: граней, кромок, вершин Исходные данные для процедуры моделирования падения объекта. В отличие от других видов анализа, где общие настройки расположены в окне Properties , в упражнении типа Drop Test Setup параметры назначаются в окне Drop Test Setup Назначение параметров, определяющих состав результатов, которые планируется получить при моделировании удара

Таблица 1.2. Панель инструментов **Loads**







Кнопка	Ярлык	Функция
	Restraints	Ограничение (Закрепление)
	Pressure	Сжатие (Распределенная нагрузка)
	Force	Сила
	Gravity	Сила тяжести
	Centrifugal Force	Центробежная сила
	Remote Load	Дистанционная нагрузка
		Назначение граничных условий на выбранных элементах модели для активного механического (статическое, собственные частоты, устойчивость, нелинейное) упражнения Приложение давления к выбранным граням для активного механического упражнения Приложение силы (force), крутящего (torque) или изгибающего момента(moment) на выбранных объектах модели для активного механического упражнения. Заданное усилие прикладывается на каждом из выбранных объектов Задание гравитационных (шире – инерционных) нагрузок для активного механического упражнения Задание центробежной силы для активного механического упражнения Приложение удаленных нагрузок для активного механического упражнения в назначенной системе координат

Таблица 1.2. Панель инструментов **Loads** (продолжение)




Кнопка	Ярлык	Ярлык	Функция
	Connectors	Жесткая связь (Соединители)	Ввод виртуальных соединительных элементов, связывающих объекты двух множеств граней (за исключением элемента Link (Связать)), для активного механического (кроме Nonlinear) упражнения
	Bearing Load	Рабочая нагрузка (Нагрузка от опор)	Приложение контактных опорных нагрузок на выбранных гранях для активного механического упражнения
	Temperature	Температура	Задание температуры на выбранных объектах для активного термического или статического упражнения

Таблица 1.3. Панель инструментов **List Results**






Кнопка	Ярлык	Ярлык	Функция
	Reaction Force	Сила реакции	Вывод величины силы реакции и ее компонентов относительно осей системы координат для активного статического упражнения
	Contact Force	Контактная сила	Вывод величины и компонентов контактного усилия между деталями в сборке или телами в детали для активного статического упражнения
	Pin/Bolt Force	Сила шпильки/болта	Вывод величин компонентов усилий, действующих в соединительных элементах – шпилька или болт
	List Modes	Список мод	Вывод списка собственных частот, соответствующих собственным формам для расчета на собственные частоты
	Response Graph	Кривая отклика	Визуализация кривой отклика для нелинейного расчета

Таблица 1.4. Панель инструментов **Result Tools**






Кнопка	Ярлык	Ярлык	Функция
	Design Check Wizard	Помощник для проверки проектирования	Отображение на поверхности модели диаграммы с коэффициентом запаса прочности для активного упражнения
	Stress	Напряжение	Отображение на поверхности модели диаграммы напряжений для активного упражнения
	Displacement	Перемещение	Отображение на поверхности модели распределения перемещений для активного упражнения
	Strain	Деформация	Отображение на поверхности модели диаграммы перемещений для активного упражнения
	Thermal	Термическая	Отображение на поверхности модели распределения температуры, температурного градиента, а также теплового потока для активного теплового упражнения

Таблица 1.4. Панель инструментов Result Tools (продолжение)

Кнопка	Ярлык	Функция
 Report	Отчет	Генерация отчета в формате HTML по результатам выполнения активного упражнения
 Animate	Анимировать	Анимация отображаемой в настоящий момент диаграммы с результатами
 Section clipping	Отсечение	Активизация панели Сечение, предназначенной для динамического управления сечениями активной диаграммы с результатами
 Iso clipping	Ограничение Iso	Активизация панели Изосечение, предназначенной для динамического отображения изоповерхностей для активной диаграммы с результатами
 Settings	Параметры	Определение параметров отображения активной диаграммы с результатами
 Probe	Зондирование	Вывод величины функции, отображаемой на активной диаграмме, в некотором узле или группе узлов
 List Selected	Выбранный список	Вывод значений функции, отображаемой на активной диаграмме, в узлах на кромке или грани. Отображение набора значений в виде графика
 Save As	Сохранить как	Запись активной диаграммы в форматах: eDrawings, bitmap, JPEG, VRML, XGL или ZGL
 Show/Hide Mesh	Отобразить/скрыть сетку	Отображение/скрытие сетки. Если визуализируются какие-либо результаты, то нажатие этой кнопки приведет к отображению «нормального» вида модели SolidWorks

1.2. Взаимодействие с SolidWorks

Как уже было сказано, обе рассматриваемые программы функционируют на единой модели. COSMOSWorks с абсолютной точностью воспринимает геометрические объекты SolidWorks: сборки, детали, поверхности, грани, кромки и вершины, а также так называемую справочную геометрию (оси, плоскости). Плоская грань воспринимается как плоская; круговая кромка, цилиндрическая и сферическая грани обладают соответствующей функциональностью. Поэтому желательно определять геометрию и взаимосвязи в сборке максимально полно до начала работы с COSMOSWorks.

Правила, по которым обрабатываются геометрические данные из SolidWorks:

- *погашенные* объекты и детали не воспринимаются;
- невидимые элементы поверхностей воспринимаются, невидимые детали в сборке воспринимаются;
- если в детали присутствует только *твердотельная информация*, то в режиме детали можно создавать расчетные модели **Solid** (Твердотельная), **Mid-surfaces** (Поверхностная на базе «срединных» поверхностей) и **Surfaces** (Поверхностная на базе граней);

- если в детали присутствует только *поверхностная информация*, можно создавать расчетные модели типа **Surfaces** (Поверхностная);
- если в детали присутствует поверхностная и твердотельная информация, то можно создавать твердотельные, поверхностные или гибридные (начиная с версии 2006 года) конечно-элементные модели;
- если в одной детали присутствует несколько независимых *тел*, то программа, начиная с версии 2006 года, воспринимает их по правилам, характерным для сборки;
- если в некоторой детали в сборке присутствует несколько независимых тел, то программа, начиная с версии 2006 года, воспринимает их по правилам идентичным для многотельных деталей;
- если в сборке присутствует твердотельная и поверхностная информация, то, в зависимости от типа сетки, могут восприниматься или твердотельные, или поверхностные, или оба типа данных;
- правила, описывающие функционирование объектов, аппроксимированных гибридными сетками элементов твердых тел и оболочек, приведены в главе 3;
- правила, характеризующие поведение твердотельных компонентов в сборке и твердых тел в детали, приведены в главе 8.

Если SolidWorks переключается на работу в режим детали (**Part Mode**), то COSMOSWorks автоматически переводится в этот же режим. Из режима сборки в COSMOSWorks доступны только функции расчета сборок (**Assembly Mode**). Начиная с SolidWorks 2003, на уровне детали поддерживается многотельный режим. COSMOSWorks до версии 2006 года работает корректно, только если все тела объединены посредством функции SolidWorks Соединить (**Join**). При этом программа нечувствительна к способу получения *односвязной области*: ее можно сформировать операциями булева объединения, вычитания, пересечения.

Если же деталь – *многосвязное тело*, которое должно быть проанализировано именно в таком состоянии, то следует преобразовать деталь в сборку, например, посредством функции SolidWorks 2003 Разделить (**Split**), а в SolidWorks 2004 – также Создать сборку (**Create Assembly**). В ходе преобразования результаты членения необходимо поместить в отдельные файлы. Далее эта сборка может быть рассчитана по правилам, применяемым в режиме сборки.

В COSMOSWorks 2006 поддерживается обработка нескольких тел в одной детали. За исключением объектов **Link** (Связать) и **Pin** (Штифт) обработка сборок и многотельных деталей выполняется по одним и тем же правилам.

Зачастую для расчета не требуется вся топологическая информация. Это характерно как для деталей (избыточными являются все внешние скругления и фаски, некоторые отверстия под крепеж и т.д.), так и для сборок – в них могут присутствовать «неработающие» детали. В такой ситуации типовым приемом является создание специальных расчетных конфигураций (функция SolidWorks) для деталей и сборок. Для версий COSMOSWorks до 2005 года иметь более одной такой конфигурации не рекомендуется, поскольку при активизации другой конфигурации «подвисают» наложенные на погашенные объекты **Load/Restraints**

(Граничные условия) и **Control Symbols** (Элементы управления плотностью сетки). Сетка является общей для всех расчетных моделей – они в COSMOSWorks называются **Study** (Упражнение), поэтому ее требуется перестраивать. Результаты расчетов при этом, естественно, теряются. В последних версиях программы Study ассоциированы с конкретными конфигурациями, а каждое упражнение, в свою очередь, имеет собственную сетку. Соответственно манипуляции с конфигурациями модели геометрической влияют только на связанные с ними модели расчетные (если таковые существуют).

При изменении модели с вводом новых или удалением геометрических элементов в зависимости от вида расчета выполняются следующие действия:

- для твердотельной детали, если необходимо, следует дополнить граничные условия, перестроить сетку и повторить расчет. Если при изменении геометрии были удалены объекты, к которым привязывались граничные условия или параметры разбиения сетки, то эти условия и параметры следует исключить. В любом случае в Менеджере красным цветом будут высвечены индикаторы **What's Wrong?** (Что неверно?), обозначающие объекты, на которые повлияли изменения. В принципе, можно запустить расчет на выполнение, однако адекватность расчетной и геометрической моделей не гарантируется;
- если в сборке появились/были удалены детали, в детали появились/были удалены тела, то следует подать команду **Update All Components for All Studies** (Обновить компоненты для всех упражнений), чтобы актуализировать состав папок **Solids** (Твердотельные (Твердые тела)) всех упражнений, или **Update Components** (Обновить все компоненты) для обновления папок конкретного упражнения. Команды подаются из контекстного меню корневой пиктограммы Менеджера COSMOSWorks и из меню пиктограммы конкретного упражнения соответственно. Эти же команды доступны из пункта **Material** (Материал) выпадающего меню. Перед подачей этих команд следует активизировать обновляемое упражнение в Менеджере. Следует также назначить материал вновь появившихся деталей/тел, а также обратить внимание на сопряжения с контактирующими деталями/телами, поскольку они будут назначены по умолчанию (меню **Contact/Gaps** (Контакт/Зазоры));
- для поверхностной модели соответствие геометрических и расчетных данных обеспечивается командами **Define By Selected Surfaces** (Определить выбранными поверхностями) и **Delete** (Удалить), подаваемыми над папкой **Shells** (Оболочки) и пиктограммами **Shell...** (Оболочка...) соответственно. Плюс к тому необходимо назначить материал и толщину вновь появившихся и принятых в расчет поверхностей. Никаких автоматических операций по актуализации поверхностных объектов нет;
- к сборкам при изменении деталей применяются те же действия, что в режиме детали по отношению к телам.

У этих правил есть общая черта: объектом для наложения граничных условий является геометрическая модель. Расчет же осуществляется исключительно на

базе информации, содержащейся в сетке. Поэтому для того чтобы некие изменения в геометрии повлияли на результат, нужно привести в соответствие граничные условия и геометрию, перестроить сетку, выполнить расчет.

Запись расчетной информации осуществляется так.

1. Данные о настройках расчета конкретного объекта, граничных условиях, параметрах плотности сетки, настройках отображения результатов записываются в модель SolidWorks. Удаление рабочей информации и результатов производится одновременно с удалением соответствующего упражнения (**Study**). Однако в любом случае полного удаления расчетной информации из модели достичь невозможно. В поставке COSMOSWorks присутствует программа CleanPart (Очистка детали), предназначенная для очистки файла SolidWorks от посторонней информации. Подробности приведены в разделе 13.3.1.
2. Информация о сетке, результаты расчета в ходе работы программы записываются в отдельные файлы, помещаемые в **Results folder** (Папка результатов) COSMOSWorks. Путь к рабочему каталогу задается в меню **Preferences** ⇒ **Results** (Параметры ⇒ Результаты). Этим файлам присваиваются имена, имеющие формат xxx-ууу.zzz. Здесь xxx – имя файла детали (сборки), ууу – название упражнения, zzz – расширение, генерируемое программой. При загруженной в SolidWorks детали файлов и, соответственно, расширений может быть несколько. После выгрузки детали из оперативной памяти остается единственный рабочий файл с расширением CWR. В него собираются все файлы: граничных условий, материалов, сетки, результатов и т. д. При удалении упражнения соответствующий ему файл CWR уничтожается автоматически.
3. **Optimization Study** (Оптимизационное упражнение) порождает данные о ходе процесса и геометрические параметры, описывающие оптимальный проект. Более подробная информация о взаимодействии оптимизационной процедуры и SolidWorks приведена в главе 7.

Отсюда следует рекомендация: перед уничтожением детали/сборки следует удалить все упражнения COSMOSWorks. В противном случае с учетом того, что результаты расчета, да и сама сетка могут занимать десятки и сотни мегабайт, диск окажется заполненным совершенно ненужной информацией. Вторая рекомендация такова: не следует прерывать работу программ (как COSMOSWorks, так и SolidWorks). Аварийное завершение не приводит к автоматическому стиранию рабочих файлов.

В заключение отметим, что случаев, когда информация, записываемая расчетной программой в модель, как-либо влияла на ее функционирование, не наблюдалось. Тем не менее рекомендуется, чтобы приложения COSMOSWorks работали только совместно с моделями, для которых они необходимы. Как показала практика эксплуатации приложений SolidWorks, защищенных лицензиями, при запуске программы требуется определенное время на проверку актуальности лицензии. Кроме того, в процессе загрузки геометрических моделей программа анализирует их на наличие информации, «внедренной» приложениями. При обработке больших моделей, в частности сборок, эта процедура занимает ощутимое время.

1.3. Решаемые задачи и виды анализа

Особенность COSMOSWorks – древовидная структуризация расчетных проблем, касающихся отдельной геометрической модели. В данном разделе рассмотрены вопросы формирования этой структуры и взаимодействия составляющих ее элементов.

1.3.1. Упражнения

Как упоминалось, единственная геометрическая модель может быть связана с рядом разнообразных задач. В COSMOSWorks каждая отдельная задача именуется **Design Study** (Упражнение). Задачи могут соответствовать различным видам расчета: статическому, выделению собственных форм и частот, форм потери устойчивости, тепловому или оптимизационному. Каждый расчетный случай – даже если отдельные упражнения принадлежат к одному типу, например статическому, – характеризуется собственным набором свойств материалов, граничных условий, типов используемых решателей, их настроек и т.д. Начиная с версии 2005 года, с каждым упражнением ассоциирована своя сетка конечных элементов. Единственным, пожалуй, недостатком такого подхода является необходимость следить за тем, чтобы в термоупругом анализе сетка расчета теплового совпадала с сеткой расчета статического. Также в усталостном расчете с несколькими событиями сетки ассоциированных статических анализов должны быть идентичны. Можно исследовать влияние параметров сетки на результаты. В некоторых ситуациях влияние типа сетки и параметров дискретизации на величину, например, максимальных напряжений может быть сопоставимо с изменениями, обусловленными варьированием собственно нагрузок.

Отсюда следствие: **Design Studies** – эффективный инструмент как для упражнения конструкций при действии качественно разных факторов, так и при варьировании материалов компонентов в пределах задач, относящихся к одному типу упражнения. Единственное ограничение здесь – невозможность одновременной визуализации результатов, относящихся к различным упражнениям (**Design Study**), но и это можно сделать при подготовке отчета (**Report**).

После того как упражнение создано, оно не может быть переименовано.

Функционально упражнения (за исключением термоупругого анализа) абсолютно независимы друг от друга. Их существование не требует полноты исходных данных. То есть каждое упражнение может быть решено вне связи с другими при наличии достаточной информации о материалах, граничных условиях, сетке.

Если же сетка перестроена, то предыдущие результаты для того упражнения, с которым ассоциирована сетка, становятся недействительными и требуют пересчета для каждого отдельного случая.

Поскольку твердотельная и оболочечная сетки не сосуществуют в одном упражнении, то на сетке одного типа могут быть выполнены только соответствующие ей расчеты. При необходимости выполнения других, например поверхностных после твердотельных, следует перестроить сетку. Очевидно, что результаты предыдущих (в данной ситуации – твердотельных) расчетов теряются.

1.3.2. Параметры

Функция **Parameters** (Настройки или, более правильно, Параметры) предназначена для назначения характеристик, определяющих различные расчетные конфигурации. Она тесно связана с процедурой **Design Scenario** (Сценарий проектирования), отвечая за подготовку для нее исходной информации, и желательно, чтобы они изучались совместно. Тем, кто начинает осваивать программу, и особенно пользователям, не знакомым в деталях с процедурами МКЭ, рекомендуется отложить изучение данной опции. Она, по сути, не вносит дополнительных расчетных возможностей, а служит лишь для более рациональной организации работы пользователя. Объекты, используемые этой функцией, не имеют никакого отношения к Таблице параметров (**Design Table**) SolidWorks.

Назначение функции **Parameters** состоит в том, чтобы при наличии потребности в расчете с некоторым набором величин размеров, нагрузок, характеристик материалов и т. д. не создавать для каждого подмножества параметров новое упражнение, а сосредоточить эти переменные в таблице, строки которой будут соответствовать определенному состоянию исследуемого объекта. Соответствующее меню вызывается после двойного щелчка по пиктограмме **Parameters** в Менеджере (рис. 1.4).

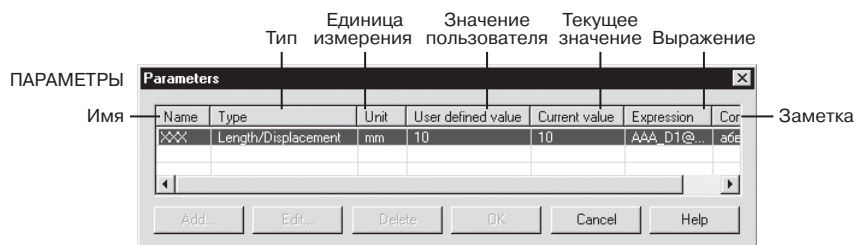


Рис. 1.4. Формирование таблицы параметров

После двойного щелчка по одной из строчек или по кнопке **Add** (Добавить) возникает меню с описанием требуемого объекта.

Дальнейшие операции вполне очевидны. Упомянем, какие классы могут быть назначены в качестве параметров (рис. 1.5):

- **Material** – свойства материалов;
- **Mesh** – параметры сетки;
- **Model Dimensions** – размеры SolidWorks;
- **Others** – площадь, объем;
- **Structural Loads/Restraints** – параметры граничных условий для структурного упражнения;
- **Thermal Loads/Restraints** – параметры граничных условий для теплового упражнения.

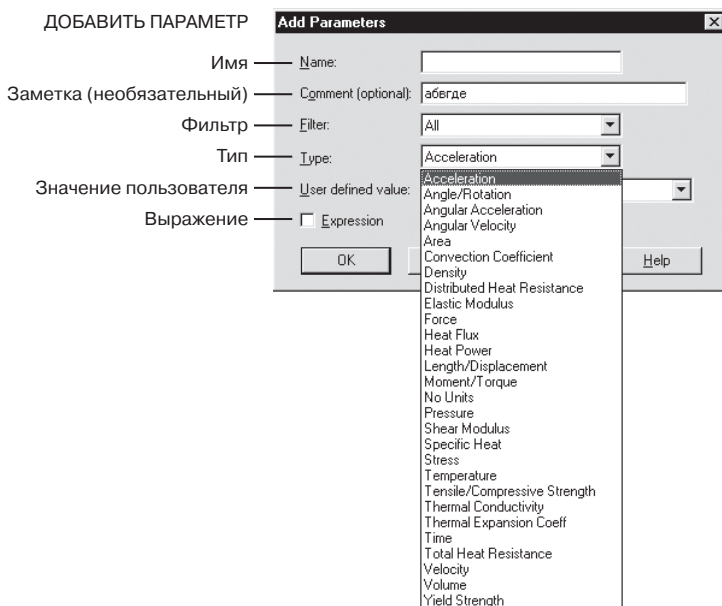


Рис. 1.5. Допустимые типы параметров

Величины параметров можно задавать в виде констант или через формулу – для этого предназначены соответственно колонки **User defined value** (Значение пользователя) и окно **Expression** (Выражение). В последнем случае допустимо вычисление данного параметра в зависимости от величин параметров, созданных ранее. Выражения допускают арифметические и логические операторы. Для размеров выражения применять нельзя. Здесь следует учитывать, что параметр, определяющий геометрический размер, может связываться только с конкретным размером, который присутствует в модели на момент назначения параметра. Другие параметры, например определяющие нагрузки или характеристики материала, могут назначаться до того, как подобные сущности появились где-либо.

Таблица параметров не имеет самостоятельного значения. Она используется в качестве исходной информации для сценариев проектирования (**Design Scenario**). Рекомендуется сначала полностью отработать модель в плане геометрии и расчетной аппроксимации, а затем производить ее параметрическое исследование.

1.3.3. Сценарии проектирования

Функция **Design Scenario** (Сценарий проектирования) предназначена для имитации процесса исследования объекта при разнообразных вариантах его геометрии и условий нагружения. **Design Scenario** опирается на таблицу параметров – **Parameters** и предоставляет возможности наглядного графического отображения результатов. Не рекомендуется осваивать эту процедуру до более детального знакомства с расчетными возможностями COSMOSWorks.

Для создания и существования сценариев необходимо выполнить следующие действия в указанной последовательности (рис. 1.6):



Рис. 1.6. Формирование сценариев проектирования

1. Определить один или более параметров в таблице параметров.
2. Создать какое-либо упражнение (за исключением оптимизационного). После этого в Менеджере появляется пиктограмма **Design Scenario**.
3. Связать один или несколько параметров из таблицы с соответствующими исходными данными требуемых упражнений. Если параметром должен являться не геометрический размер, а, например, величина граничного условия или характеристика материала, то действия пользователя следующие. Если некий (до сих пор абстрактный) параметр, имеющий необходимую размерность, присутствует в таблице, то нужно увидеть в конкретной панели поле, в которое должна вводиться соответствующая величина. Например, сила – в панели **Force** (Сила) с полем **Force value** (Величина силы); характеристика материала – в подходящем поле редактора материалов (в этом случае нужно, чтобы материал относился к категории **Custom defined** (Определенный пользователем)). Затем, расположив указатель мыши над этим полем, нужно вызвать контекстное меню и подать команду **Link Values** (Связать значения), после чего выбрать желаемый параметр из числа имеющихся на данный момент в таблице параметров. Чтобы убрать параметр из сценариев проектирования, следует эти действия повторить, но в конце использовать команду **Unlink values** (Отменить связку значений).
4. Двойным щелчком мыши по пиктограмме **Design Scenario** активизировать соответствующую опцию.