

УДК 62-11004.9Autodesk Simulation Multiphysics
ББК 30.4-02с515
П88

Пузанов А. В.

П88 Инженерный анализ в Autodesk Simulation Multiphysics. Методическое руководство. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 912 с.: ил.

ISBN 978-5-94074-693-5

Книга предназначена для инженеров и конструкторов, занимающихся разработкой и моделированием машиностроительных конструкций, а также для студентов и аспирантов технических специальностей вузов.

Книга изложена в максимальном приближении к официальной справке по Autodesk Simulation и, по сути, является локализованным справочным руководством.

В книге представлены описание интерфейса, команд, настройка и принцип работы в Autodesk Simulation Multiphysics; создание, импорт/экспорт моделей, выбор типа анализа, параметров, решение задач в простой и связанной постановке; просмотр и оценка полученных результатов. Приведено описание приложений для расчета усталости и прочностного анализа емкостей.

В зависимости от степени подготовки читатель может обратиться к конкретным разделам: либо к основам и принципам работы с программным комплексом, либо непосредственно к сути и особенностям построения более сложных моделей. В книге приведены рекомендации по созданию адекватных моделей, эффективные приемы работы с программным комплексом. Рассмотрены возможные ошибки при построении модели и ее анализе, даны вероятные пути решения.

Материал книги представлен для версии Autodesk Simulation Multiphysics 2012. Таким образом, в зависимости от варианта поставки или версии отдельные меню, команды и диалоговые окна будут недоступны.

УДК 62-11004.9Autodesk Simulation Multiphysics
ББК 30.4-02с515

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

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

ISBN 978-5-94074-693-5

© Пузанов А. В., 2012
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2012

Краткое содержание

Autodesk Simulation – место в структуре цифрового прототипа от Autodesk	21
Системные требования	22
Введение.....	23
Основы Autodesk Simulation.....	24
Типы анализа	208
Настройка и выполнение анализа	269
Результаты	806
Приложение	877
Изменения в версии Autodesk Simulation 2013 (март 2012).....	905

Содержание

Autodesk Simulation – место в структуре цифрового прототипа от Autodesk	21
Системные требования	22
Введение.....	23
Основы Autodesk Simulation	24
Запуск Autodesk Simulation	25
Интерфейс пользователя	25
Команды навигации	27
Настройка отображения видового куба	27
Использование компаса.....	28
Наклонить вид грани	29
Переключиться на соседнюю грань	29
Вид спереди	30
Обзор штурвалов	31
Уведомление о неактивном штурвале	32
Отображение и использование штурвалов	32
Управление отображением штурвалов	33
Подсказки для штурвалов и информация об инструментах	33
Панель навигации	33
Доступные инструменты навигации	34
Изменение положения и ориентации панели навигации.....	34
Управление отображением инструментов навигации на панели навигации	35
Виды моделей.....	35
Инфоцентр.....	37
Меню	37
Основные свойства и параметры	40
Диалоговые окна.....	40
Закладка Analysis	40
Закладка CAD Import	42

Закладка FEA Editor	44
Закладка General Information	44
Закладка Graphics	44
Закладка Mesh-FEM File interface	46
Закладка Mouse Option	47
Закладка Reporting.....	47
Закладка Results	47
Закладка Sketching	47
Закладка View Option.....	48
Панель быстрого доступа	48
Закладка Настройки выбора	49
Закладка настройки просмотра	54
Закладка настройки инструментария	58
Закладка настройки горячих клавиш	59
Системные единицы	61
Утилита конвертирования базы данных.....	65
Калькулятор размеров и центра тяжести.....	67
Импорт файлов моделей.....	69
Введение	69
Загрузка моделей Autodesk Simulation	69
Загрузка модели	69
Загрузка унаследованных моделей	70
Импорт CAD-файлов	70
Работа локально	70
Импорт твердотельных моделей из CAD-программы	72
Импорт файлов с использованием Autodesk Simulation с установленной CAD-надстройкой	72
Импорт файлов с использованием Alibre Design.....	73
Импорт файлов с использованием Autodesk Inventor.....	73
Импорт файлов с использованием Autodesk Inventor Fusion	73
Импорт файлов с использованием Autodesk Mechanical Desktop	74
Импорт файлов с использованием CoCreate OneSpace Modeling	74
Импорт файлов с использованием IronCAD	74
Импорт файлов с использованием KeyCreator	75
Импорт файлов с использованием Pro/ENGINEER.....	75
Импорт файлов с использованием Rhinoceros	75
Импорт файлов с использованием Solid Edge	75

Импорт файлов с использованием SolidWorks	76
Импорт файлов с использованием SpaceClaim	76
Ассоциативность между CAD и Autodesk Simulation	77
Упрощение моделей	78
Импорт моделей без использования CAD-приложений	81
Импорт файлов	82
Сшивание поверхностей	83
Импорт каркасных CAD-файлов	84
Импорт каркасных файлов AutoCAD DXF/DWG	84
Импорт каркасных IGES-файлов	86
Импорт/экспорт CAE-файлов	87
Архивы	88
Создание	88
Загрузка	89
Управление	89
Восстановление	89
Удаление	89
Загрузка моделей с компакт-диска	90
Конечно-элементные модели	90
Обзор разбиения модели на конечные элементы	90
Разбиение на конечные элементы твердотельных CAD-моделей	91
Основные принципы	91
Общие замечания	93
Размер конечно-элементной сети	93
Контакт и соответствие КЭ-сети между деталями	94
Разбиение на конечные элементы твердотельных моделей	95
Тонкостенные детали	95
Анализ потока жидкости и анализ мультифизики	95
Материалы уплотнений (прокладки)	96
Параметры настройки КЭ-сети модели	96
Проблемы водонепроницаемости в КЭ-сетях	125
Соответствие конструктивных особенностей	127
Объединение компонентов	129
Болты и другие крепления	132
Точки усовершенствования	137
Конструктивные вершины – узловые точки	140
Генерация жидкости	141
Изучение КЭ-сети	142

Создание и редактирование модели	145
Плоскость рисования	145
Добавление геометрии	149
Добавление новой детали в модель	150
Добавление конструктивных узлов в модель	150
Добавление линий в модель.....	151
Изменение геометрии.....	156
Запрос (справка)	166
Утилиты	167
Изменение параметров Autodesk Inventor	169
Генерация сети моделей, созданных вручную	169
Усовершенствование сети поверхности	182
Кнопка Options	183
Контактные пары	189
Типы контакта	192
Функция силового соединения.....	195
Предупреждение по использованию силового соединения.....	197
Примечание силового соединения.....	197
Пример теплового контакта	206
Типы анализа	208
Какой анализ применить?.....	209
Линейный.....	209
Нелинейный	210
Тепловой	211
Поток жидкости	212
Электростатический	212
Массопередача	213
Мультифизика	213
Установка типа анализа.....	214
Мультифизика	214
Сравнение связанных и несвязанных исследований.....	215
Преимущества связанного анализа.....	215
Преимущества несвязанного анализа	215
Линейный анализ	217
Статическое напряжение с линейными моделями материалов	217
Собственная (модальная) частота	218

Собственная (модальная) частота с приложением нагрузки.....	219
Переходный процесс	219
Спектр отклика.....	221
Случайная вибрация	222
Частотный отклик	224
Критическая нагрузка устойчивости.....	225
Метод динамического проектирования (DDAM)	228
Нелинейный анализ.....	230
Нелинейное конструктивное моделирование механических событий (MES)	230
Теоретические основы моделирования событий.....	231
Схема моделирования событий	235
Собственная частота – модальный анализ с нелинейными моделями материалов	238
Совместимость моделей.....	238
Тепловой анализ	239
Установившаяся теплопередача.....	240
Линейный установившийся анализ теплопередачи	240
Нелинейный установившийся анализ теплопередачи	241
Нестационарный теплообмен.....	245
Линейный анализ переходного процесса теплопередачи.....	246
Нелинейный анализ переходного процесса теплопередачи.....	247
Анализ течения жидкости	247
Стационарное течение жидкости	248
Нестационарное течение жидкости.....	249
Течение жидкости через пористый материал	249
Течение жидкости в открытом канале	250
Рассмотрение моделирования.....	251
Теоретические основы течения жидкости.....	257
Уравнения Навье-Стокса для несжимаемого потока жидкости.....	257
Метод конечных элементов и несжимаемые потоки	258
Описание задачи	259
Метод пенальти	262
Дискретизированные уравнения.....	263
Электростатический анализ	265

Основные уравнения для исследований электростатики	265
Электростатический ток и напряжение	266
Электростатическое поле и напряжение	266
Анализ усталости	267
Массопередача	267
Настройка и выполнение анализа	269
Сценарии проекта моделей	270
Работа со сценариями проекта	272
Среда Редактора FEA	274
Разные функции (видимость, подавление, копия и вставка)	274
Выбор типа элемента	276
Определение параметров элемента	276
Определение свойств материалов	276
Использование нагрузок и ограничений (граничных условий) ...	278
Определение направления нагрузки	279
Группировка нагрузок и ограничений	279
Назначение нагрузки / ограничения группе	280
Добавление или исключение группы в анализ	280
Изменения элементов в группе	281
Определение параметров исследований	281
Симметрия модели	281
Мультифизика – использование результатов в других исследованиях	282
Требования для сетей различного размера	283
Требования идентичности сетей	285
Локальные системы координат	286
Создание системы координат	287
Назначение узлов системе координат	287
Назначение нагрузок и ограничений локальным системам координат	288
Представление результатов в системе координат	290
Линейный анализ	291
Тип элементов и параметры	291
Балочные элементы	291
Промежуточные элементы	301
Жесткие элементы	304
Элементы пружины	306

Элементы связки	308
2D-элементы	310
Мембранные элементы	315
Элементы пластины	320
Толстостенные составные (композитные) элементы	326
Тонкие составные элементы	334
Тетраэдральные (кирпичные) элементы	342
Четырехгранные (тетраэдрические) элементы	346
Несовместимые режимы деформации	348
Свойства материалов	349
Изотропные свойства материалов	349
Ортотропные свойства материала	350
Температурно зависимые свойства материалов	352
Свойства композитных материалов	352
Свойства пьезоэлектрических материалов	356
Свойства анизотропных материалов	357
Нагрузки и закрепления	358
Гравитация или ускорение	358
Предварительная нагрузка балки	359
Центробежная нагрузка	362
Распределенные нагрузки	364
Силы	364
Гидростатическое давление	367
Нагрузки из файла	370
Сосредоточенные массы	370
Моменты	371
Давление или растяжение	372
Внешние нагрузки	373
Температура	376
Переменные нагрузки	379
Электрическое напряжение	383
Общие ограничения – граничные условия	384
Ограничение штифт	385
Циклическая симметрия	386
Предопределенная деформация – элемент перемещения границ	389
Одномерная пружина – упругий граничный элемент	390
Разъединение концов	390
Многоточечные ограничения	392

Смещения.....	394
3D-пружины – жесткие граничные элементы.....	395
Параметры анализа	397
Статический анализ напряжений с линейными моделями материалов.....	397
Собственная частота – модальный анализ	405
Анализ собственной частоты с преднапряжением.....	409
Спектр отклика.....	412
Анализ случайных вибраций.....	417
Анализ частотного отклика.....	418
Анализ переходного процесса напряжений – прямое интегрирование.....	422
Анализ переходного процесса напряжений – модальная суперпозиция	426
Критическая нагрузка устойчивости.....	428
Метод динамического проектирования (DDAM)	431
Нелинейный анализ.....	435
Тип элементов и параметры	435
Линейные элементы.....	435
Элементы привода.....	435
Балочные элементы	438
Элементы контакта	449
Элементы связи	450
Элементы демпфирования	451
Универсальный элемент контакта	451
Элементы шкива	454
Элементы трубы	456
Элементы слайдера.....	459
Элементы пружины.....	460
Элементы связи	462
Плоские элементы	464
2D-элементы	464
Мембранные элементы.....	479
Элементы оболочки	488
Твердотельные элементы.....	502
Элементы прокладки 3D	502
3D-гидродинамические элементы	505
3D-кинематические элементы	506
Тетраэдральные (кирпичные) элементы.....	507

Четырехгранные (тетраэдрические) элементы.....	519
Формулировки исследований	529
Свойства материалов.....	530
Материал Arruda-Boyce (Арруда-Бойс)	531
Материал Blatz-Ko (Блатц-Ко)	531
Композитные материалы	531
График зависимости свойств материала	536
График зависимости свойств материала с исключением.....	538
Разрушаемый материал.....	538
Материал Drucker-Prager (Друкер-Прагер)	539
Материал Duncan-Chang (Дункан-Чанг)	540
Материал прокладки.....	542
Гидродинамические материалы.....	545
Гиперпена.....	545
Изотропные материалы	546
Линейные вязкоупругие материалы	547
Материал Mooney-Rivlin (Муни-Ривлин)	548
Ортотропные материалы	550
Пьезоэлектрические материалы	551
Железобетон	552
Температурно зависимые материалы	555
Тепловая ползучесть вязкоупругих материалов	556
Материал Van der Waals (Ван дер Ваалса)	557
Геологические материалы.....	558
Вязкоупругий материал	559
Кривые материала Мизеса	559
Материал Мизеса	560
Материал Yeoh (Еох).....	563
Аппроксимация кривой	563
Нагрузки и закрепления	571
Редактор кривой нагрузки.....	573
Предварительные нагрузки балки	574
Распределенные нагрузки	575
Силы	576
Гравитация или ускорение	578
Гидростатическое давление.....	579
Начальная скорость	582
Нагрузки из файла	582

Сосредоточенные массы	582
Моменты.....	583
Предопределенное перемещение	584
Давление или растяжение.....	586
Исследования (проба)	588
Внешние нагрузки.....	589
Температура	591
Переменные нагрузки	593
Электрическое напряжение	595
Общие ограничения – граничные условия	596
Ограничение штифт	597
Разъединение концов	598
Плоскости воздействия.....	599
Смещения.....	600
Контакт поверхность к поверхности	601
Параметры анализа	603
Моделирование механических событий	603
Моделирование статических напряжений с нелинейными моделями материалов.....	604
MES Рикс – постдеформация	605
Анализ собственной частоты с нелинейными моделями материалов.....	607
Определение кривой нагрузки	608
Контроль вывода результатов	613
Дополнительные параметры настройки	614
Метод равновесия	614
Контроль сходимости	616
Методы интегрирования	620
Контроль размера шага по времени.....	622
Выполнение рестарта анализа.....	624
Применение демпфирования Рэлея.....	628
Определение центробежных нагрузок	629
Контроль выходных файлов	630
Опции решателя	631
Тепловой анализ	633
Тип элементов и параметры	633
Линейные элементы.....	633
Стержневые элементы.....	633
Плоские элементы	634

2D-элементы	634
Элементы пластины	638
Твердотельные элементы	641
Кирпичные элементы	641
Тетраэдрические элементы	645
Свойства материалов	648
Изотропные свойства материалов	648
Ортотропные свойства материала	648
Температурно зависимые свойства материалов	649
Изотропные свойства материала переменного фазового состояния	650
Нагрузки и закрепления	652
Редактор кривой нагрузки	653
Применение температуры	655
Радиация от тела к телу	656
Конвекция	661
Конвекция жидкости	663
Поток теплоты или источник	665
Генерация внутренней теплоты	665
Радиация	666
Температура	668
Нагрузки из файла	669
Параметры анализа	669
Установившаяся теплопередача	669
Переходный процесс теплопередачи	676
Анализ течения жидкости	688
Тип элементов и параметры	688
Плоские элементы	688
2D-элементы	688
Твердотельные элементы	693
3D-элементы	693
Свойства материалов	698
Свойства материала ньютоновской жидкости	698
Свойства материала Power Law (закона мощности)	699
Свойства материала Carreau (Карпео)	701
Свойства пористых материалов	702
Свойства изотропных материалов	703
Свойства ортотропных материалов	704
Свойства материала жидкости	704

Нагрузки и закрепления	704
Редактор кривой нагрузки.....	705
Силы плавучести.....	707
Поверхности вентилятора	708
Гравитация или ускорение	710
Начальные объемы жидкости	710
Предопределенные отверстия входа и выхода.....	712
Предопределенные скорости.....	712
Предопределенные условия турбулентности	718
Предопределенная шероховатость стенки.....	719
Давления и растяжения.....	720
Относительное вращение конструкций	722
Параметры анализа	727
Стационарный или нестационарный поток жидкости	727
Кривые нагрузок	727
Опции формулировки	732
Варианты турбулентности.....	736
Опции решателя	738
Управление данными в выходных текстовых файлах	741
Рестарт анализа	742
Дополнительные опции решателя.....	743
Поток через пористые материалы	745
Электростатический анализ	746
Тип элементов и параметры	746
Плоские элементы	746
2D-элементы	746
Твердотельные элементы.....	749
Кирпичные элементы.....	749
Тетраэдрические элементы	750
Свойства материалов.....	752
Изотропные свойства материалов	752
Ортотропные свойства материала	752
Температурно зависимые свойства материалов	753
Нагрузки и закрепления	753
Приложенное электронапряжение	754
Заряд.....	755
Ток	755
Температура	755
Параметры анализа	757

Электростатический ток и электронапряжение	757
Сила электростатического поля и электронапряжения.....	760
Массопередача	765
Тип элементов и параметры	765
Нагрузки и закрепления	766
Концентрация	767
Начальные концентрации.....	768
Источники массы	768
Параметры анализа	769
Кривые нагрузок	769
Управление данными в выходных текстовых файлах	772
Рестарт анализа.....	773
Параметры анализа мультифизики.....	773
Параметры связанного стационарного анализа теплового и потока жидкости.....	774
Основная позиция табуляции связанного стационарного анализа.....	774
Дополнительная позиция табуляции связанного стационарного анализа.....	777
Параметры связанного переходного процесса анализа теплового и потока жидкости	778
Основная позиция табуляции связанного анализа переходного процесса	779
Дополнительная позиция табуляции связанного анализа переходного процесса	782
Управление библиотекой материалов	783
Нагрузки из других файлов	784
Решатели в конечно-элементном анализе.....	786
Выполнение анализа – запуск моделирования	790
Запланированный анализ	793
Выполнение линейных исследований	795
Выполнение нелинейных исследований.....	796
Выполнение тепловых исследований	797
Выполнение исследований потока жидкости	798
Выполнение исследований массопередачи	798
Выполнение исследований мультифизики	798
Сообщения об ошибках ФОРТРАНа.....	798
Оптимизация конструкции	798
Конструктивные переменные	800

Цели и ограничения	802
Расширения файлов.....	803
Результаты	806
Среда Результатов	807
Экспорт результатов	810
Меню Результаты	811
Меню результатов линейного анализа	811
Меню результатов нелинейного анализа.....	822
Меню результатов теплового анализа	825
Меню результатов электростатического анализа	826
Меню результатов анализа потока жидкости.....	829
Меню результатов анализа массопередачи	833
Меню результатов мультифизики.....	834
Опции результатов	834
Опции отображения	842
Меню Утилиты	847
Линеаризация напряжения	847
Инструментальная панель.....	848
Область графика.....	851
Контроль линеаризации.....	852
Комбинации нагрузок	853
Анализ разрушений.....	855
Графические результаты анализа.....	862
Отчеты HTML.....	869
Настройка отчета	869
Сохранение отчетов	873
Визуализация анимации	874
Приложение	877
Примеры	877
Мастер расчета усталости Autodesk Fatigue	877
Шаг 1	879
Шаг 2	879
Шаг 3	885
Шаг 4	887
Шаг 5	890
Шаг 6	891

Содержание	19
Шаг 7	894
Визуализатор	896
Генератор отчета	900
Приложение PVDesigner	901
Изменения в версии Autodesk Simulation 2013 (март 2012)	905