

УДК [62-112+624.01]:004.9SolidWorks Simulation
ББК 30.4с515
А60

Алямовский А. А.
А60 SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 658 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-646-9

Книга продолжает серию публикаций, посвящённых решению инженерных задач в среде SOLIDWORKS Simulation, включающей инструменты для анализа прочности – собственно Simulation; гидрогазодинамики и теплопередачи – Flow Simulation; кинематики и динамики механизмов – Motion. Материал основан на практическом опыте автора. Каждая глава посвящена отдельному объекту, представляющему определённый класс конструкций и обладающему методической ценностью. Изложение начинается с постановки задачи, затем следует анализ с точки зрения пригодности имеющихся инструментов. Подробно описаны построение расчётной модели в рамках реального технического задания, вычислительный процесс, получение результатов, их анализ и интерпретация.

Издание в первую очередь будет полезно инженерам, которым требуется понимание объектов через моделирование процессов, происходящих в них и вокруг них.

УДК [62-112+624.01]:004.9SolidWorks Simulation
ББК 30.4с515

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 978-5-97060-646-9

© Алямовский А. А., 2018
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2018

Оглавление

Введение	10
Глава 1. Жёсткость, прочность и динамика оросительной системы в линейной и нелинейной балочных моделях	13
1.1. Постановка задачи	13
1.2. Расчётная геометрическая балочная модель	15
1.3. Статический линейный анализ	16
1.4. Частотный анализ	26
1.5. Устойчивость	28
1.6. Статический нелинейный анализ	29
1.7. Динамический нелинейный анализ	32
1.8. Динамический линейный анализ	38
1.9. Выводы	43
Глава 2. Анализ применимости стеклопластика для изготовления секции мобильного моста	44
2.1. Постановка задачи	44
2.2. Расчётная геометрическая модель металлической конструкции	46
2.3. Материалы	48
2.4. Граничные условия	49
2.5. Контакты и соединители	51
2.6. Сетка	52
2.7. Результаты и их интерпретация для металлической конструкции	54
2.8. Металлокомпозитный вариант	58
2.9. Сравнительный анализ вариантов конструкции	66
2.10. Выводы	67
Глава 3. Ветровое воздействие на тонкостенный резервуар	68
3.1. Постановка задачи	68
3.2. Способы переноса аэродинамических нагрузок в прочностную модель	70
3.3. Особенности построения геометрической модели	72
3.4. Аэродинамический расчёт	76
3.5. Расчёт на прочность с использованием модели листового металла	82

3.6. Расчёт на прочность с ручным переносом аэродинамических нагрузок в прочностную модель	93
3.7. Искусственный приём автоматического переноса аэродинамических нагрузок в прочностную модель с оболочками	95
3.8. Оценка устойчивости в линейной постановке	97
3.9. Выводы.....	97

Глава 4. Вибрационный анализ прибора

с подвижными элементами.....	99
4.1. Постановка задачи	99
4.2. Особенности построения расчётной модели	100
4.3. Эффективные модели подшипников в задачах собственных частот и вибрации	108
4.3.1. Оценка радиальной жёсткости	108
4.3.2. Оценка осевой жёсткости	119
4.3.3. Виртуальные пружины как аналоги виртуальных подшипников	123
4.3.4. Выводы по прогнозированию характеристик виртуальных подшипников и пружин	126
4.4. Замена подшипников виртуальными сущностями в расчётной модели прибора	127
4.5. Моделирование приводов	130
4.6. Вычислительная модель	131
4.7. Настройки вычислительного процесса.....	133
4.8. Сетка	134
4.9. Результаты по собственным частотам.....	137
4.10. Датчики.....	147
4.11. Результаты расчётов при вибрационном нагружении.....	148
4.11.1. «Жёсткие» подшипники, возбуждение по z	149
4.11.2. «Податливые» подшипники, возбуждение по z	153
4.11.3. «Жёсткие» пружины, возбуждение по z	154
4.11.4. «Жёсткие» подшипники, возбуждение по x	155
4.11.5. «Жёсткие» подшипники, возбуждение по y	157
4.11.6. «Податливые» подшипники, возбуждение по x	159
4.11.7. «Жёсткие» пружины, возбуждение по x	159
4.11.8. «Податливые» пружины, возбуждение по x	161
4.12. Влияние демпфирующих свойств системы на динамику	162
4.13. Факторы, снижающие точность расчёта.....	164
4.14. Практическая ценность результатов	164
4.14. Выводы.....	167

Глава 5. Рациональные алгоритмы и настройки для расчёта гидродинамики центробежного насоса с параметрическим анализом и оптимизацией	168
5.1. Постановка задачи.....	169
5.2. Расчётная модель.....	170
5.3. Граничные условия и настройки вычислительного процесса.....	175
5.4. Анализ влияния настроек сетки на сходимость и точность.....	184
5.5. Учёт сжимаемости жидкости.....	191
5.6. Анализ кавитации.....	194
5.7. Выводы из исследований по подготовке моделей и анализу настроек вычислительного процесса.....	195
5.8. Параметрический анализ и оптимизация.....	197
5.9. Выводы из параметрических и оптимизационных исследований.....	210
Глава 6. Динамика виброизолированных систем	211
6.1. Постановка задачи.....	211
6.2. Типовые конструкции виброизоляторов и их свойства.....	213
6.3. Типовые испытания.....	218
6.4. Термины и определения.....	221
6.5. Моделирование простой колебательной системы.....	223
6.5.1. Постановка задачи.....	223
6.5.2. Использование модели движения.....	223
6.5.3. Идентификация демпфирующих характеристик в модели движения.....	253
6.5.4. Моделирование простой колебательной системы в прочностной модели.....	255
6.5.5. Идентификация демпфирующих характеристик в прочностной модели.....	269
6.6. Вибрационный анализ в прочностной модели.....	270
6.7. Оценка демпфирования в направлениях x и y	275
6.8. Типовые схемы крепления аппаратуры посредством виброизоляторов.....	278
6.9. Реализация практической модели динамических испытаний.....	279
6.9.1. Базовая геометрическая модель.....	279
6.9.2. Реализация динамической схемы в модели движения: вибрация.....	287
6.9.3. Динамика системы в модели движения: вибрация.....	291
6.9.4. Динамика системы в модели движения: удар.....	295
6.9.5. Реализация динамической схемы в прочностной модели.....	297
6.9.6. Динамика системы в прочностной модели: вибрация.....	306

6.9.7. Динамика системы в прочностной модели: случайные колебания	312
6.9.8. Динамика системы в прочностной модели: удар	316
6.10. Использование функционала нелинейной динамики для имитации удара и вибрации	321
6.11. Библиотеки и стандартные объекты	321
6.12. Перспективы	325
6.13. Выводы	325
6.14. Технические аспекты	326
Глава 7. Тепловой расчёт пульта нагрузок	328
7.1. Постановка задачи	328
7.2. Адаптация геометрической модели для гидрогазодинамики	330
7.3. Расчётная модель	330
7.4. Иерархическое представление и присвоение граничных условий	336
7.4.1. Локальная модель резистора	337
7.4.2. Локальная модель арматуры резистора	340
7.4.3. Локальная модель платы	341
7.4.4. Локальная модель блока резисторов	344
7.4.5. Глобальная модель прибора	345
7.5. Особенности моделирования сетки (решётки) на входе и выходе	347
7.6. Настройки расчётной сетки	350
7.7. Настройки вычислительного процесса	353
7.8. Анализ вычислительного процесса	357
7.9. Результаты и их интерпретация	358
7.10. Оценка влияния постановки задачи на тепловое состояние конструкции	363
7.10.1. Гравитация и потенциал давления	364
7.10.2. Наличие сеток на входе и выходе	365
7.10.3. Условия снаружи	368
7.10.4. Влажность	371
7.11. Расчёт эффективных тепловых характеристик проволочного сопротивления	373
7.11.1. Построение типовой ячейки	373
7.11.2. Эффективная теплопроводность по оси z	376
7.11.3. Эффективная теплопроводность по оси x	379
7.11.4. Удельная теплоёмкость	381
7.11.5. Выводы по задаче расчёта эффективных тепловых характеристик	385
7.12. Анализ характеристик вентилятора для использования в расчётной модели	385
7.13. Эффективные характеристики сетки как пористой среды	394

7.14. Выводы	399
7.15. Доработка модели по результатам анализа	400

Глава 8. Тепловой расчёт редуктора с принудительным

воздушным и водяным охлаждением

409

8.1. Постановка задачи	409
8.2. Традиционная методика полуэмпирического анализа	411
8.3. Методология совместного использования численного метода и полуэмпирического расчёта	412
8.4. Адаптация геометрической модели для гидрогазодинамики.....	413
8.5. Расчётная модель	419
8.6. Результаты и их интерпретация	432
8.7. Выводы	437

Глава 9. Гидродинамический тепловой анализ

автомобильного радиатора – многоуровневая модель

438

9.1. Постановка задачи	439
9.2. Варианты построения вычислительной модели	442
9.3. Структура многоуровневой модели.....	444
9.3.1. Радиатор	445
9.3.2. Трубка для пограничного слоя	447
9.3.3. Трубка для сопротивления условной среды.....	455
9.3.4. Пористая среда для местного сопротивления в трубке.....	459
9.3.5. Пористая среда для сопротивления блока трубок	461
9.3.6. Сопротивление по воде с местными сопротивлениями трубок.....	463
9.3.7. Сопротивление по воде на глобальной модели с блоком, имитирующим пакет трубок.....	467
9.3.8. Ячейка для теплоотдачи от воды к воздуху	473
9.3.9. Учёт изменения температуры по высоте	490
9.3.10. Поправка по мощности на излучение трубок и пластин в среду	495
9.3.11. Поправка по мощности на теплообмен окружения с бачками и рамой	498
9.3.12. Полная мощность	504
9.3.13. Ячейка для воздушного сопротивления	505
9.3.14. Полное воздушное сопротивление	507
9.4. Составляющие теплоотдачи и интегральные характеристики радиатора	508
9.5. Выводы по расчёту исходной конструкции	509
9.6. Улучшение тепловых характеристик.....	510
9.7. Расчёт модифицированной конструкции	515

Глава 10. Термоупругость автомобильного радиатора	519
10.1. Постановка задачи	520
10.2. Варианты построения геометрической расчётной модели	520
10.3. Эффективные свойства однородной среды, имитирующей массив пластин	522
10.3.1. Эффективные свойства в направлении оси z	524
10.3.2. Эффективные свойства в направлении оси x	532
10.3.3. Эффективные свойства в направлении оси y	535
10.3.4. Термоупругое состояние	538
10.3.5. Эффективные свойства в плоскости yz	542
10.3.6. Эффективные свойства в плоскости zx	550
10.3.7. Эффективные свойства в плоскости xy	552
10.3.8. Вычисление эффективных характеристик по результатам виртуальных экспериментов	557
10.3.9. Выводы по расчёту эффективных характеристик	559
10.4. Расчётная модель радиатора	561
10.5. Настройки вычислительного процесса	564
10.6. Результаты и их интерпретация	571
10.7. Термоупругая модель с переменной температурой	571
10.8. Выводы	576
Глава 11. Кинематика, динамика и точность циклоидальных передач	577
11.1. Описание циклоидальной передачи	577
11.2. Решение для кинематической системы	579
11.3. Решение для динамической системы	586
11.4. Анализ точности механизма	594
11.5. Выводы	596
Глава 12. Расчёт четырёхпролётного анкерного участка линии электропередачи	597
12.1. Постановка задачи	597
12.2. Расчётная модель	598
12.3. Расчёт по упругой нелинейной модели для одной плети	599
12.4. Расчёт по модели движения для одного пролёта	605
12.4. Расчёт по модели движения для трёх пролётов с гирляндами	617
12.5. Учёт других нагрузок	622
12.6. Выводы	625
Глава 13. Опорожнение бака с воздухом через клапан	626
13.1. Постановка задачи	626
13.2. Методологические особенности задачи опорожнения сосуда	627

13.3. Расчёт посредством калькулятора: исходные данные	630
13.3.1. Вычислительная модель для расчёта массового расхода в нестационарной постановке.....	631
13.3.2. Использование калькулятора: процедура и результаты	641
13.4. Пошаговая имитация сброса давления	644
13.4.1. Вычислительная модель	644
13.4.2. Пошаговый алгоритм с учётом неизотермического характера процесса	645
13.4.3. Реализация пошагового алгоритма во Flow Simulation.....	649
13.4.4. Сравнение результатов калькулятора и численного расчёта	655
13.5. Выводы.....	656
Литература	657