

Содержание

<i>Предисловие</i>	13
Введение. Назначение и возможности модуля APM Structure3D	13
Особенности применения метода конечных элементов в APM Structure3D	13
Стержневые конечные элементы	14
Оболочечные/пластинчатые конечные элементы	15
Объемные конечные элементы	16
Специальные инструменты моделирования	17
Нагрузки и воздействия	18
Результаты расчета	18
Особенности подготовки конечно-элементных моделей к расчету	19
Глава 1. Настройки модуля APM Structure3D	21
1.1. Общие настройки	22
1.2. Настройки препроцессора моделей	23
1.3. Настройки расчета	26
1.4. Режим отмены операций	27
Глава 2. Создание стержневой расчетной модели	29
2.1. Построение расчетной модели	29
2.1.1. Создание плоской секции	29
2.1.2. Выталкивание плоской рамы в заданном направлении	33
2.1.2.1. Выделение фрагмента модели	34
2.1.2.2. Выталкивание плоского фрагмента модели	35
2.1.3. Моделирование окружностей и их дуг	38
2.1.3.1. Моделирование окружностей	38
2.1.3.2. Моделирование дуг окружностей	40
2.2. Работа с библиотеками поперечных сечений	41
2.2.1. Библиотеки поперечных сечений	41
2.2.2. Создание чертежа поперечного сечения	44
2.2.2.1. Построение чертежа поперечного сечения с помощью внутреннего редактора поперечных сечений модуля APM Structure3D	44
2.2.2.2. Открытие ранее созданных файлов с расширением *.wcr и импорт чертежа поперечного сечения как файла форматов *.agr и *.dxf	46

2.2.2.3. Импорт параметрической модели чертежа сечения и простого блока из внешних библиотек или текущего чертежа	46
2.2.2.4. Встраивание параметрической модели чертежа сечения из базы данных	48
2.2.3. Преобразование чертежа в объект типа «поперечное сечение»	51
2.2.3.1. Выделение контуров поперечного сечения	51
2.2.3.2. Добавление созданного сечения в библиотеку поперечных сечений	52
2.3. Подготовка стержневой модели к расчету	54
2.3.1. Задание параметров материала	54
2.3.2. Присвоение поперечных сечений	57
2.3.2.1. Присвоение стержневым элементам поперечных сечений из библиотеки	58
2.3.2.2. Выбор поперечных сечений из базы данных и внесение их в список сечений модели	61
2.3.2.3. Ориентация поперечных сечений стержневых элементов	63
2.3.2.4. Редактирование параметров стержневых элементов	65
2.3.3. Установка опор	67
2.3.4. Моделирование действия внешних нагрузок	68
2.3.4.1. Загружения и комбинации загружений	69
2.3.4.2. Сосредоточенные нагрузки в узлах модели	72
2.3.4.3. Распределенные нагрузки на стержни в ГСК	74
2.3.4.4. Сосредоточенные и распределенные нагрузки на стержневые элементы в ЛСК стержня	75
Глава 3. Расчет напряженно-деформированного состояния стержневой модели (статический расчет) и анализ полученных результатов	85
3.1. Выполнение расчета	85
3.1.1. Параметры расчета	85
3.1.2. Запуск процесса расчета	88
3.2. Визуализация результатов статического расчета напряженно-деформированного состояния стержневой модели	90
3.2.1. Карта результатов напряженно-деформированного состояния модели	90
3.2.1.1. Настройка параметров вывода результатов	90
3.2.1.2. Карта напряжений	91
3.2.1.3. Экстремальные значения расчетных параметров	94
3.2.1.4. Построение выносок	94
3.2.1.5. Объемное представление карты напряжений	96
3.2.2. Изменение диапазона расчетного параметра на карте результатов	97
3.2.3. Распределение эквивалентных напряжений и их составляющих в поперечном сечении стержня	98

3.2.4. Деформированная модель	99
3.2.5. Карты распределения перемещений, внутренних усилий, коэффициентов запаса и главных напряжений	100
3.2.5.1. Карты распределения линейных, угловых и суммарных перемещений	100
3.2.5.2. Карты распределения нагрузок (внутренних усилий), коэффициентов запаса и главных напряжений	102
3.2.6. Визуализация карт результатов расчета усталостной прочности	104
3.2.6.1. Задание исходных данных для усталостного расчета	105
3.2.6.2. Анализ результатов расчета усталостной прочности	106
3.3. Реакции в опорах	108
3.4. Визуализация результатов расчета силовых факторов	110
3.5. Количественные результаты расчета элементов модели	112
3.5.1. Внутренние силовые факторы в узлах стержневых элементов модели	112
3.5.2. Изменение координат вектора при переходе к другой системе координат	114
3.5.3. Графики внутренних усилий и перемещений	115
3.6. Номенклатура и расход стержневых элементов	119
3.7. Вывод результатов расчета модели на печать и в файл формата RTF	120
Глава 4. Создание и расчет стержнево-оболочечной модели.	
Работа с макрообъектом типа «плита»	125
4.1. Общие положения	125
4.1.1. Виды пластинчатых КЭ	125
4.1.2. Выбор параметров разбиения пластинчатых КЭ	126
4.1.2.1. Предпочтительные формы пластинчатых КЭ	127
4.1.2.2. Параметры разбиения пластин на КЭ	127
4.2. Режимы разбиения пластин	127
4.2.1. Режим «Четырехугольная Прямоугольная пластина»	128
4.2.1.1. ЛСК пластины	128
4.2.1.2. Создание и разбиение пластинчатых элементов	129
4.2.2. Режим «Произвольная пластина с разбиением»	132
4.2.3. Неавтоматизированный («ручной») режим создания и дополнительного разбиения пластин	136
4.3. Задание параметров пластин и их нагружение	137
4.3.1. Задание типа пластин и способа учета крутильной жесткости	137
4.3.2. Присвоение пластинам толщины и свойств материала	138
4.3.2.1. Толщина пластин	138
4.3.2.2. Материал пластин	139

4.3.3. Моделирование действия на пластины распределенных нагрузок	140
4.3.3.1. Моделирование действия нормальных равномерно распределенных нагрузок	141
4.3.3.2. Моделирование действия на пластины произвольных распределенных нагрузок	142
4.3.3.3. Моделирование действия неравномерно распределенных нагрузок	142
4.3.3.4. Контроль правильности моделирования распределенных нагрузок	143
4.3.4. Ориентирование ЛСК пластины и инверсия нормали	144
4.3.4.1. Ориентирование ЛСК пластины	145
4.3.4.2. Инверсия нормали ЛСК пластины	146
4.4. Визуализация результатов расчета стержнево-пластинчатой модели.....	146
4.4.1. Карты результатов	147
4.4.1.1. Настройка параметров вывода результатов	147
4.4.1.2. Карта напряжений	149
4.4.1.3. Карта перемещений	153
4.4.1.4. Карты нагрузок, коэффициентов запаса по прочности и текучести, главных напряжений и деформаций	154
4.4.2. Количественные результаты расчета	158
4.5. Плита и приемы работы с ней	159
4.5.1. Создание плиты с помощью команды Произвольная пластина с разбиением	160
4.5.2. Подготовка модели с плитой к расчету	162
4.6. Пластины без жесткости	166
4.6.1. Создание пластин без жесткости и их особенности	166
4.6.2. Пути решения проблем, возникающих при создании модели с пластинами без жесткости	167
Глава 5. Специальные инструменты моделирования	170
5.1. Слои	170
5.2. Стержневые элементы типа «канат»	172
5.2.1. Создание модели конструкции, содержащей тросы (канаты, ванты, оттяжки и т. д.)	173
5.2.2. Особенности расчета модели с канатами	175
5.3. Видовые плоскости	180
5.3.1. Работа с видовой плоскостью при создании трехмерных моделей	181
5.3.2. Поворот вида	185
5.4. Инструменты редактирования модели	186
5.4.1. Копирование объектов в буфер обмена и вставка из буфера	186

5.4.2. Поворот объекта относительно ГСК	187
5.4.3. Создание зеркальной копии объекта	189
5.5. Задание ЛСК в узлах	191
5.5.1. Задание ЛСК узлов с помощью поворотов осей ГСК	191
5.5.2. Привязка осей ЛСК узлов к направлению выделенного стержня	192
5.5.3. Ориентация осей ЛСК узлов в заданных направлениях	193
5.6. Создание шарниров	193
5.6.1. Создание и редактирование шарнира в узле	194
5.6.2. Создание и редактирование шарнира на конце стержня	195
5.7. Освобождение связей стержневого элемента в узле	196
5.8. Упругие опоры	198
5.9. Моделирование сосредоточенных масс и моментов инерции	199
5.10. Создание модели спиральной пружины	200
5.11. Внецентренное соединение стержневых элементов модели	202
5.12. Упругие связи	204
5.13. Совместные перемещения узлов модели	205
5.14. Создание связи жесткими вставками типа узел —> группа узлов	208
5.15. Проверка корректности построения модели	210
5.15.1. Проверка на связанность	210
5.15.2. Проверка модели, содержащей стержневые элементы, на присвоение им поперечного сечения	211
5.15.3. Соединение близкорасположенных узлов	212
5.15.4. Проверка углов пластин	213
5.15.5. Проверка объемных элементов	213
5.16. Получение информации о модели	214
Глава 6. Создание и расчет моделей, содержащих оболочечные и объемные конечные элементы	217
6.1. Построение и расчет оболочечных моделей	217
6.1.1. Примеры построения и расчета оболочечных моделей	217
6.1.2. Операция «Выравнивание узлов»	227
6.2. Создание и расчет моделей, содержащих объемные КЭ	230
6.2.1. Типы объемных КЭ. Рекомендации по подбору параметров разбиения объемной модели на КЭ	230
6.2.2. Основные способы и приемы создания моделей, содержащих объемные КЭ	231
6.2.2.1. Создание объемной модели лопатки турбины с помощью операции выталкивания	232

6.2.2.2. Построение модели конической втулки с помощью операции генерации полярного массива	234
6.2.3. Построение связанных объемных моделей	235
6.2.4. Использование инструмента «Выравнивание узлов» для построения сложных объемных моделей	237
6.2.5. Особенности подготовки к расчету твердотельных моделей	239
6.2.6. Моделирование вращающего момента	241
6.2.6.1. Моделирование вращающего момента с помощью пары сил	241
6.2.5.2. Моделирование вращающего момента с помощью вспомогательных стержней	242
Глава 7. Нагрузки специального вида	244
7.1. Нагрузки в узлах	244
7.1.1. Нагрузки, заданные смещением узлов (осадкой опор)	244
7.1.2. Моделирование температурных нагрузок	246
7.2. Специальные случаи нагружения стержневых элементов	247
7.2.1. Задание предварительной деформации	247
7.2.2. Моделирование температурных нагрузок	249
7.3. Действие нагрузок на пластинчатые элементы	250
7.3.1. Моделирование температурных нагрузок	250
7.3.1.1. Равномерная температурная нагрузка	251
7.3.1.2. Линейно изменяющаяся температурная нагрузка	252
7.3.2. Снеговые и ветровые нагрузки	254
7.3.2.1. Снеговые нагрузки	254
7.3.2.2. Ветровые нагрузки	257
7.4. Давление на объемные элементы модели	261
7.5. Действие нагрузок на модель как единый объект	263
7.5.1. Силовые факторы, заданные ускорениями	263
7.5.2. Сейсмические воздействия	265
7.5.3. Пульсационная составляющая ветровой нагрузки	267
7.6. Моделирование динамических (переменных во времени) нагрузок. Редактор задания динамических нагрузок	269
7.6.1. Выбор загружений для задания динамической нагрузки	269
7.6.2. Редактор функций	270
7.6.3. Задание графика динамической нагрузки	281
7.7. Преобразование статических нагрузок в массы	283
Глава 8. Виды расчетов	286
8.1. Статический расчет	286
8.2. Расчет усталостной прочности	287

8.3. Проверка несущей способности стержневых элементов с автоматизированным подбором поперечных сечений	287
8.3.1. Создание конструктивных элементов и присвоение им заданных свойств	288
8.3.2. Расчет нагрузочной способности конструктивных элементов и анализ результатов	291
8.4. Расчет устойчивости	292
8.4.1. Параметры расчета	293
8.4.2. Расчет устойчивости и анализ результатов	294
8.5. Деформационный расчет	296
8.6. Нелинейный расчет	297
8.6.1. Расчет с учетом геометрической нелинейности	297
8.6.2. Расчет с учетом физической нелинейности материала	299
8.6.2.1. Задание закона упрочнения материала	300
8.6.2.2. Нелинейный расчет за пределами упругости	302
8.6.2.3. Анализ результатов расчета	303
8.6.3. Решение задачи контактного взаимодействия	305
8.6.3.1. Создание контактных элементов на поверхностях контактирующих деталей	305
8.6.3.2. Описание свойств контактных и целевых элементов	307
8.6.3.3. Выполнение нелинейного расчета с целью решения контактной задачи	310
8.6.3.4. Анализ результатов решения контактной задачи	311
8.6.3.5. Рекомендации по созданию КЭ-сетки при решении контактной задачи	313
8.7. Определение частот и форм собственных колебаний	315
8.7.1. Параметры расчета	316
8.7.2. Расчет собственных частот и анализ результатов	317
8.8. Расчет вынужденных колебаний	319
8.8.1. Задание исходных данных и параметров расчета	319
8.8.2. Анализ результатов расчета	321
8.8.2.1. Анимация колебаний модели	321
8.8.2.2. Графики перемещения в узлах и график напряжений в выбранном сечении	323
8.9. Тепловой расчет и решение задачи термоупругости	325
8.9.1. Тепловой расчет	325
8.9.2. Решение задачи термоупругости при выполнении теплового расчета	326
8.9.3. Решение задачи термоупругости для случая температурного воздействия на стержневые и пластинчатые элементы	327
8.10. Выполнение пакетных расчетов	328
8.10.1. Подготовка к выполнению пакетного расчета	328
8.10.2. Запуск на расчет пакета файлов	331

Глава 9. Комплексный прочностной анализ модели металлоконструкции с узловыми соединениями	332
9.1. Комплексный прочностной расчет модели металлоконструкции с учетом сварного соединения входящих в узел стержней	332
9.1.1. Выполнение статического расчета в модуле APM Structure3D. Передача элементов узла в модуль APM Joint	333
9.1.2. Задание конфигурации сварных швов и параметров расчета	336
9.1.3. Выполнение проектировочного расчета сварного шва и просмотр результатов	338
9.1.4. Проверочный расчет	340
9.2. Особенности расчета соединения с использованием болтов или заклепок	341
Глава 10. Использование 3D-редактора APM Studio для прочностного анализа поверхностных и твердотельных моделей	343
10.1. Трехмерный редактор создания, импорта и разбиения моделей на конечные элементы	343
10.2. Подготовка сборочной единицы к расчету	344
10.2.1. Импорт сборочной единицы в редактор APM Studio	345
10.2.2. Определение совпадающих поверхностей деталей сборочной единицы	348
10.2.2.1. Автоматический поиск совпадающих поверхностей	349
10.2.2.2. Неавтоматический режим задания совпадающих поверхностей	350
10.2.3. Задание опор (закрепление) детали или сборочной единицы и моделирование действующих на нее нагрузок	353
10.2.3.1. Моделирование нагрузок	353
10.2.3.2. Моделирование опор (закреплений)	354
10.2.4. Присвоение деталям сборки параметров материала	357
10.2.5. Генерация КЭ-сетки	359
10.3. Прочностной расчет сборочной единицы и визуализация его результатов	365
10.4. Подготовка к прочностному расчету модели из листового материала ...	367
10.5. Статический расчет поверхностной модели	370
10.5.1. Статический расчет поверхностной модели без корректировки размеров	371
10.5.2. Коррекция размеров модели и статический расчет в модуле APM Structure3D	371
<i>Литература</i>	373