
ПРИМЕНЕНИЕ CAE-СИСТЕМ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Р.В. Дубровский

Кафедра технологии машиностроения,
металлорежущих станков и инструментов
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

Статья посвящена методике применения CAE-системы (APM Structure 3D) в учебном процессе и научных исследованиях, проводимых на кафедре.

Ключевые слова: CAE, CAD, модель, метод конечных элементов, моделирование, инженерный анализ.

В настоящее время при конструировании, проектировании и научных исследованиях повсеместно используются автоматизированные системы научных исследований, которые на западе имеют название CAE-систем. Данные системы совместно с CAD-3D-системами позволяют создавать трехмерные модели деталей, конструкций и производить их инженерный анализ с помощью метода конечных элементов (МКЭ).

На нашей кафедре в этих целях применяется пакет программ APM WinMachine, который содержит модули APM Studio, APM Structure 3D и др., позволяющие проводить расчет ряд машиностроительных деталей и конструкций.

APM Studio — модуль моделирования и импорта (поддерживается импорт из формата STEP) трехмерных поверхностных и твердотельных моделей с инструментами указания опор и приложения различных нагрузок и встроенным генератором разбиения на конечно-элементную сетку. Основное назначение модуля — подготовка смоделированной или импортированной геометрии к конечно-элементному анализу в модуле APM Structure 3D.

Модуль APM Structure 3D предназначен для расчета напряженно-деформированного состояния стержневых, пластинчатых, оболочечных и твердотельных конструкций, а также их произвольных комбинаций. APM Structure 3D организован таким образом, что в его рамках можно рассчитать все многообразие существующих конструкций, собирая их из вышеперечисленных макроэлементов. Конструкции и их элементы могут быть импортированы в редактор конструкций через DXF-формат из 2D и 3D графических редакторов или напрямую через модуль APM Studio с подготовленной конечно-элементной сеткой и вариантами закрепления и нагружения. Внешняя нагрузка, так же как и условия закрепления конструкции, могут быть произвольными как по характеру, так и по местоположению.

Модуль позволяет решать следующие задачи:

- определение полей эквивалентных напряжений и их составляющих;
- расчет линейных, угловых и результирующих перемещений;

- определение внутренних усилий;
- расчет устойчивости и формы потери устойчивости;
- определение частот собственных колебаний и собственных форм;
- расчет вынужденных колебаний и анимация колебательного процесса по заданной вынуждающей нагрузке, расчет на вибрацию оснований;
- расчет температурных полей и термонапряжений;
- расчет усталостной прочности;
- геометрически нелинейные расчеты;
- автоматический подбор сечений из условий прочности, жесткости, устойчивости для металлоконструкций машиностроительного назначения;
- проектирование узлов металлоконструкций;
- автоматическая генерация номенклатуры элементов, составляющих конструкцию.

На *первом этапе* методика работы предусматривает создание трехмерной модели исследуемого объекта посредством любого CAD-3D редактора, который позволяет сохранять модели в STEP-формате, например КОМПАС 3D или MasterCAM; если же модель исследуемого объекта имеет не очень сложную конструкцию, 3-мерную модель можно создать непосредственно в модуле APM Studio.

На *втором этапе* полученную модель необходимо разбить на конечно элементную сетку (КЭ-сетка). Для этого, если модель была создана в стороннем редакторе, ее посредством экспорта открывают в модуле APM Studio и получают посредством встроенного алгоритма МКЭ модель в виде КЭ-сетки. Примеры данного этапа представлены на рис. 1.

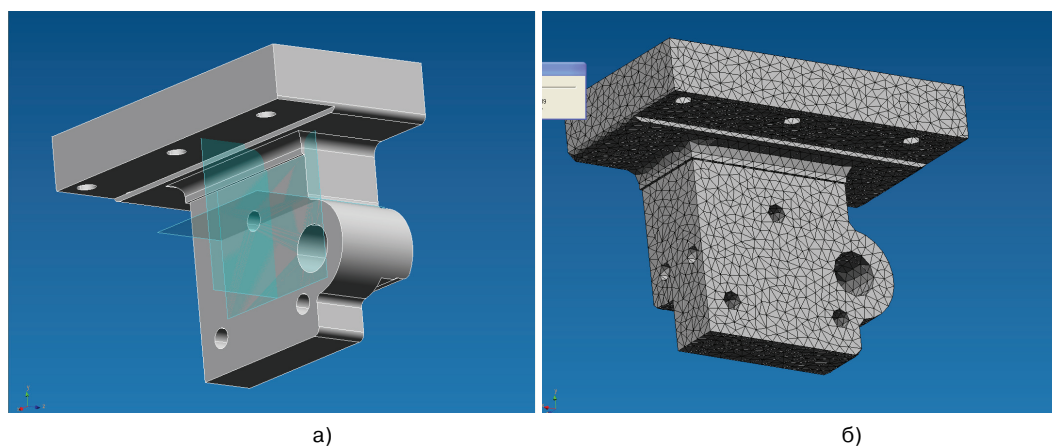


Рис. 1. Трехмерная твердотельная модель кронштейна (а) и его КЭ-сетка с максимальной длиной элемента 8 мм (б)

На *третьем этапе* полученную КЭ-сетку открывают в модуле APM Structure 3D, задают материал конструкции, в соответствии с техническим заданием на расчет и функциональным назначением конструкции, производят ее закрепление по всем трем координатам посредством функции опоры и прикладывают силы. Пример нагруженной и закрепленной детали показан на рис. 2 а).

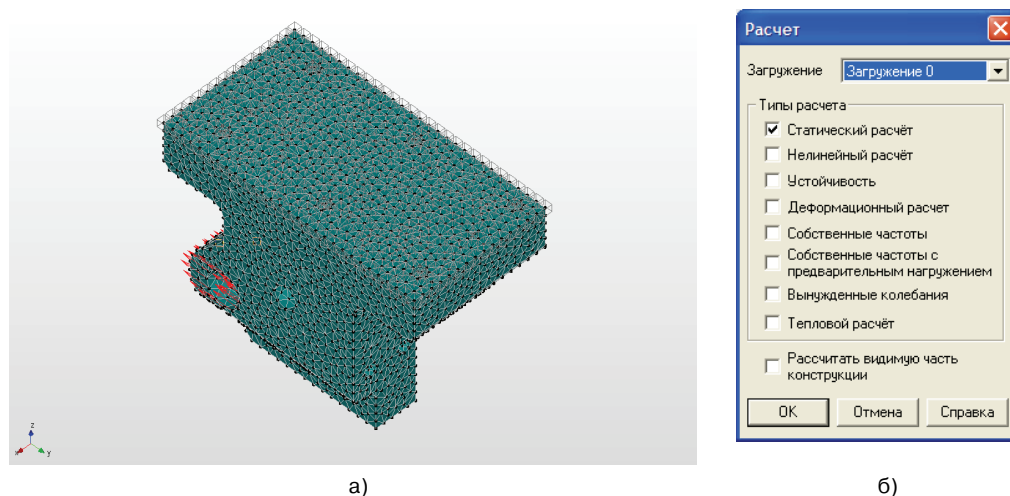


Рис. 2. Нагруженная модель кронштейна (а) и окно «Расчет», позволяющее выбрать вид расчета (б)

Модуль APM Structure 3D позволяет проводить различные расчеты модели. На рис. 2 б) представлен скриншот окна «Расчет».

Результаты проведенных расчетов получают в виде цифровых значений или можно визуально оценить в виде цветных картинок (рис. 3).

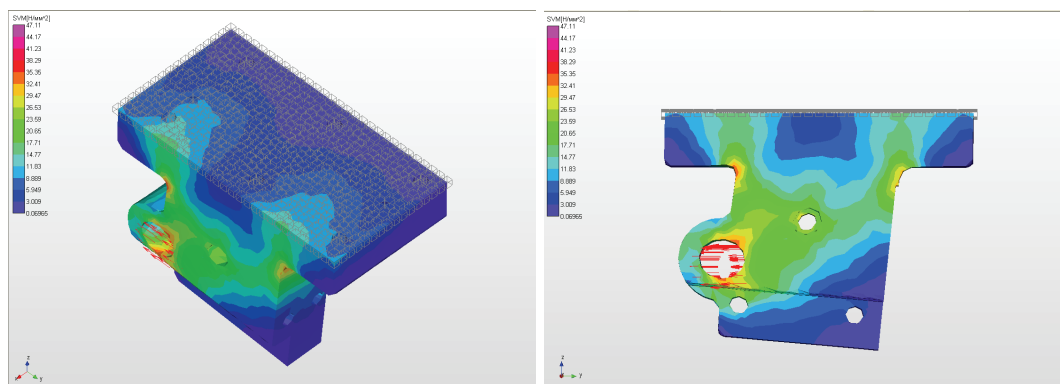


Рис. 3. Пример полученных результатов: карта эквивалентных напряжений

Преимущества компьютерного моделирования с помощью CAE-систем неоспоримы:

- компьютерное моделирование часто становится единственно возможным методом проектирования большинства сложных реальных технических объектов и систем в связи с тем, что они не могут быть точно описаны с помощью аналитических формул и соотношений;

- моделирование позволяет вычислить параметры изделия его эксплуатационные характеристики еще до материального воплощения изделия;

- компьютерное моделирование позволяет значительно сократить затраты и трудоемкость исследований и разработок по сравнению с использованием материальных образцов и реальных технических систем.

Главным недостатком компьютерной модели является трудность в определении ее адекватности и точности относительно натурной модели исследуемого объекта. Одним из методов подтверждения данных характеристик является использование аналитических моделей для каких-то частных случаев рассматриваемого объекта, которые можно применять как своеобразный тест.

На адекватность и точность компьютерной модели влияют:

- недостаточный уровень проработки существенных элементов и частей модели;
- неправильная или неточная постановка задачи исследования или отсутствие плана работ;
- шаг разбиения МКЭ.

На рисунке 4 показано воздействие на модель одинаковой силы, приложенной в одной и той же точке, шаг КЭ-сетки (а) задан по умолчанию, а другой (б, в) отличается в 2 раза. На рисунке 4 а) максимальное значение градиентной шкалы равно $3,9 \text{ Н/мм}^2$, а на рис. 4 б) уже 12 Н/мм^2 . Рисунок 4 в) представляет собой вариант б) с уменьшенным максимальным значением градиентной шкалы и равным $3,9 \text{ Н/мм}^2$.

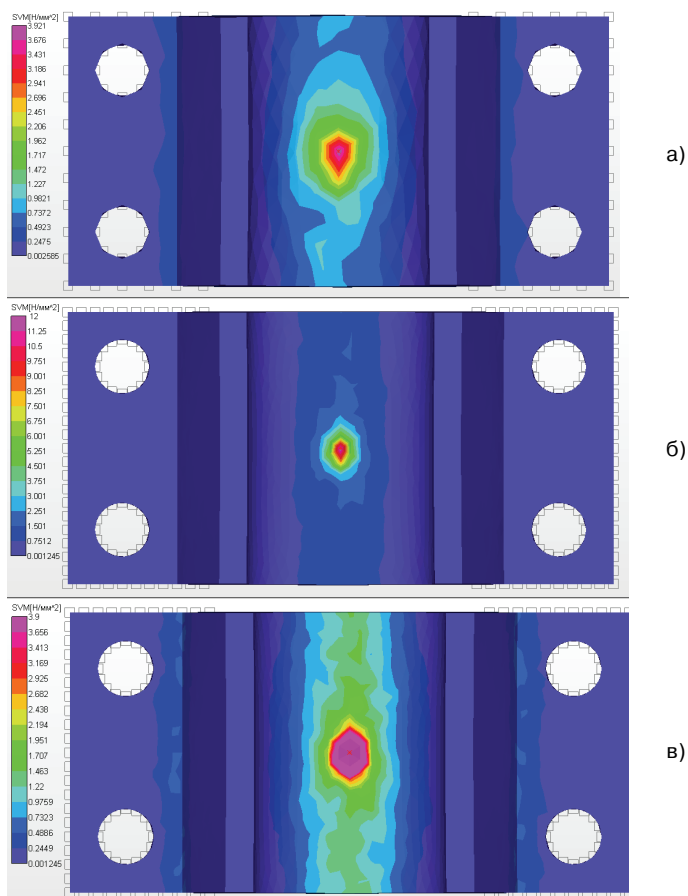


Рис. 4. Карта напряжений модели детали

Можно заметить, что результаты компьютерного моделирования отличаются друг от друга; без подтверждения адекватности модели невозможно принимать те или иные расчеты как истинно верные.

Теоретически чем меньше шаг разбиения модели, тем точнее получаемые результаты проведенного компьютерного моделирования, что, в свою очередь, ведет к повышению требований к вычислительным ресурсам, таким как тактовая частота процессора, оперативная память и увеличению времени проведения вычислений. Таким образом перед исследователем встает вопрос об определении шага КЭ-сетки модели, что бы результаты проводимых расчетов удовлетворяли требованиям по погрешности и занимали приемлемое время вычисление.

Комплекс АРМ WinMachine активно используется в учебных целях студентами — бакалаврами и магистрами для написания своих выпускных работ, а также аспирантами кафедры при написании и защите кандидатских диссертаций.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Замрий А.А.* Проектирование и расчет методом конечных элементов в среде АРМ Structure3D: Учеб. пособие. — М., 2010.
- [2] *Черепашков А.А., Носов Н.В.* Компьютерные технологии, моделирование и автоматизированные системы в машиностроении. — Волгоград: ИИ-Фолио, 2009.

APPLICATION CAE-SYSTEMS IN SCIENTIFIC RESEARCHES AND EDUCATIONAL PROCESS

R.V. Dubrovskiy

Department of Mechanical Engineering, Machine Tools and Tooling
Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

It is devoted a technique of application CAE of system (APM Structure 3D) in educational process and scientific researches applied on chair.

Key words: CAE, CAD, model, a method of final elements, modelling, the engineering analysis.