

В процессе подготовки к публикации завершающей части данного материала авторы получили возможность обменяться мнениями по принципиальным вопросам, затронутым в документе “Classes of MCAE software: clarifying the market”, с представителями авторского коллектива компании Cyon Research – главным исполнительным директором W. Bradley Holtz и вице-президентом, ведущим стратегом и прогнозистом (chief visionary) Dr. Joel Orr. С их любезного разрешения, в конце статьи мы приводим нашу переписку.

К вопросу о классификации MCAE-систем Часть III

Сергей Павлов, Dr. Phys., Юрий Береза (Observer)

observer@cadcamcae.lv

Мы завершаем рассмотрение классификации систем инженерного анализа для машиностроения (*Mechanical Computer-Aided Engineering – MCAE*), предложенной американской консалтинговой компанией *Cyon Research Corporation* в документе “Classes of MCAE software: clarifying the market”, (<http://cyonresearch.com/WhitePapers.aspx>). Для удобства читателей наши комментарии к этому документу выделяются синим цветом.

“Карты” рынка

Для наглядности аналитики *Cyon Research* предлагают воспользоваться “картами” рынка, которые помогут отобразить его структуру и взаимосвязи. “Карта” предлагается не в качестве точного инструмента, позволяющего определить, является ли один продукт лучше другого, а как схематичный эскиз (“cartoon” – эскиз, комикс, карикатура. – Прим. авт.), который может помочь читателю лучше разобраться в сложностях структуры.

Предлагаемая *Cyon Research* “карта” (рис. 1) рыночного сегмента MCAE-систем базируется на изложенном выше разделении на классы задач, решаемых с помощью этих систем. Разместить MCAE-системы на “карте” рыночного сегмента можно только со значительным перекрытием областей, относящихся к различным классам задач, поэтому следующим шагом будет полезно сделать несколько её “срезов”.

На рис. 2 по горизонтальной оси отображается глубина проблемы (диапазон – от легких до комплексных задач, что фактически является качественной, а не количественной оценкой. – Прим. авт.), а по вертикали – масштаб (scale) задачи, измеряемый количеством степеней свободы (*Degrees Of Freedom – DOF*). На “карте” показано три области, соответствующие простым (straightforward), трудным (difficult) и “ужасно сложным” (“hairy”) задачам. Простые задачи можно решать непосредственно в ходе проектирования (continuous workflow), для чего хорошо подходят MCAE-средства, интегрированные с MCAD-системами. “Ужасно сложные” задачи являются комплексными и крупными,

и зачастую требуют междисциплинарного (multiphysics) подхода.

На рис. 3 синим цветом закрашена область автоматизируемых (automatable) процессов. По степени сложности эта область соответствует “золотой середине” (“just right”) – задачи не являются слишком трудными или крупными для автоматизации, но и не такими легкими, чтобы не представлять ценности. Зеленым цветом закрашена область, где приоритет имеет интеграция MCAE-приложений с MCAD-системой.

На рис. 4 представлены CAE-продукты, предназначенные для решения задач, относящихся к классу автоматизируемых. Горизонтальная ось X разделена по сложности задач на три участка (простые, сложные и “ужасно сложные”). Вертикальная ось тоже разделена на три части, каждая из которых соответствует уровню сложности автоматизации:

- шаблоны на базе сетки (mesh-based template) – создаются для класса расчетных сеток для определенных случаев нагружения (load) или геометрии;
- шаблоны на базе модели (model-based templates) – создаются для класса моделей с учетом особенностей конструкции и взаимосвязей, характерных для геометрии и топологии модели;
- абстрактное CAE-моделирование – модели для расчетов создаются на основе разработок и взаимосвязей, которые не зависят от конкретной геометрии и топологии.

Примечание: Тот или иной продукт на рис. 4÷6 отображается в соответствии с его основной сферой применения, а не всем спектром его возможностей. Продукты, помещенные в одну ячейку, не обязательно являются равноценными и могут отличаться уровнем функциональности.

На следующих иллюстрациях представлены похожие схемы, на которых сопоставляется уровень интеграции MCAE-систем в процесс разработки изделия и сложность решаемых вопросов: для области МКЭ (рис. 5) и для задач вычислительной гидромеханики (рис. 6).

Рассматриваются следующие три уровня интеграции *MCAE*-систем:

1 Полная интеграция

В этом случае *MCAE*-система либо является неотъемлемой составной частью другой системы, либо пользователь воспринимает её таковой. Взаимодействие с лучшими в своем классе программами осуществляется средствами интерфейса программирования приложений (*API*) с использованием общей структуры данных и *API*-вызовов программ. Это позволяет обеспечить “бесшовную” интеграцию *MCAD*- и *MCAE*-систем.

2 Интегрируемая система (*integrated*)

В этом случае вторая программа запускается без выхода из первой. После завершения работы второй программы пользователь должен возвращаться в первую программу, находящуюся в том же состоянии, что и до запуска второй программы.

3 Автономная система (*standalone*)

В этом случае для запуска второй программы пользователь должен выйти из первой программы в операционную среду. Процесс этот может быть автоматизированным или выполняемым вручную, когда от пользователя требуется указать программу и соответствующие файлы данных.

В настоящее время существует противоречие между высоким уровнем интеграции *MCAE* в процесс разработки изделия и способностью решать “ужасно сложные” задачи. Возможности компромисса между двумя этими качествами при выборе *MCAE*-системы отражены на рис. 5, 6. Можно сделать акцент либо на высокой степени интеграции *MCAE*-системы, либо на её развитом функционале. Одновременный выбор обоих качеств пока невозможен. Поэтому верхняя правая ячейка на этих рисунках в течение некоторого времени будет оставаться незаполненной. На рынке присутствуют сотни поставщиков *CAE*-систем, которые специализируются в различных областях. Выборка *CAE*-продуктов, отраженная в таблицах, не является исчерпывающей.

Мы согласны с тем, что представленные составителями документа иллюстрации достаточно полно и наглядно демонстрируют результаты, полученные на основе развиваемого ими подхода к классификации *MCAE*-систем. Однако если посмотреть глубже, возникает чувство некоторого разочарования. С одной стороны, нельзя отрицать, что “карты” рынка *MCAE*-систем будут способствовать углублению понимания его структуры нашими читателями, но, с другой стороны, когда этот документ только-только попал нам в руки, мы ожидали существенно большего.

Сначала перечислим легкие замечания, которые, так сказать, плавают на поверхности и связаны с наименованиями продуктов на представленных “картах” и в описаниях классов задач.



Рис. 1. В основе “карты” рыночного сегмента *MCAE*-систем лежит классификация решаемых задач

✓ Нам не удалось обнаружить многие узнаваемые бренды продуктов – как от лидеров рынка *MCAE*-систем, так и от вендоров, находящихся на более низких ступеньках иерархии, построенной на основе годового дохода. Перечислим некоторые из них: *ANSYS CFX*, *ANSYS EKM*, *MSC.SimOffice* от *MSC.Software*, *Teamcenter for Simulation Process Management* от *Siemens PLM Software*, *Pro/ENGINEER Mechanica* от *PTC*, *ADINA* от *ADINA R&D*.

С другой стороны, только на “картах” существуют такие продукты, как *CATIA Analysis*, *LS-DYNA* от *Livermore Software Technology Corporation* и *PAM-CRASH* от *ESI Group*.

✓ Не упомянуто ни одно решение, относящееся к популярному в настоящее время мультифизическому или многодисциплинарному направлению, и в первую очередь – *ANSYS Multiphysics*, *Abaqus Multiphysics*, *ALGOR Professional Multiphysics*, *COMSOL Multiphysics*, а также *MD Nastran* и другие *MultiDisciplinary Solutions* от *MSC.Software*.

✓ Иногда наименование продукта не приводится вовсе, но при этом указывается или обозначение класса продуктов (например, *NX CAE*), или просто ключевое слово из названия компании – например, *Comet* от *Comet Solutions Inc.*

✓ Из всего набора продуктов компании иногда по каким-то признакам выбирается и упоминается в дальнейшем только один – к примеру, *NX Electronic Systems Cooling*, входящий в группу продуктов *NX Advanced Simulation Environment*. Можно предположить, что он выделен с целью отметить новый класс инструментов для моделирования электро-механических устройств. Но тогда странно, что не упоминаются, например, и соответствующие продукты от *ANSYS* (особенно в свете приобретения компании *Ansoft*). При этом другие бренды представлены довольно подробно, с перечислением практически всех основных продуктов – например, *ALGOR*, *SolidWorks* и *COSMOSWorks*.

✓ Некоторые CAE-продукты на одном и том же рисунке показаны сразу в двух ячейках (к примеру, Femap с NX Nastran или FLUENT), что, вообще-то говоря, требует пояснения. Хотелось бы знать и основания для размещения продукта в соответствующей ячейке, но об этом – несколько позже.

Более серьезное нарекание заключается в следующем. На наш взгляд, построение классификации MCAE-систем должно включать, как минимум, такие этапы:

- 1 Составление списка классифицируемых MCAE-систем.
- 2 Определение и характеристика классов MCAE-систем.
- 3 Определение критериев принадлежности MCAE-системы к тому или иному классу.
- 4 Отнесение MCAE-системы к тому или иному классу в соответствии с сформулированными критериями.

В этой связи, рассматривая документ Cyon Research с точки зрения методологии построения классификации, можно отметить следующее:

✓ Список MCAE-систем, составленный авторами документа, к сожалению, оказался неполным, причем его состав никак ими не комментировался. Вероятно, определенное влияние на выбор оказало изначально поставленная задача *мейнстримизации* тех CAE-приложений, которые рассчитаны на широкий круг инженеров-конструкторов-универсалов.

✓ Классы MCAE-систем были определены и охарактеризованы составителями достаточно корректно. Однако набор количественных и качественных критериев полностью не сложился. Если признаки, по которым MCAE-систему можно отнести к определенному классу, связанному со степенью интеграции CAE, сформулированы достаточно ясно, а для масштаба задач введен количественный критерий (хотя он, видимо, еще требует уточнения), то для определения сложности задач и глубины проблем никаких количественных критериев предложено не было. Здесь, вероятно, расчет сделан на интуицию настоящих и будущих пользователей, вендоров/реселлеров и экспертов. Но в этом случае то, от задач какой сложности будут

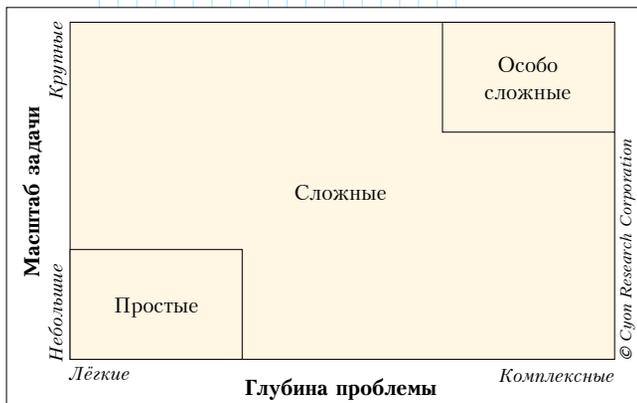


Рис. 2. Классификация задач по сложности

стоять дыбом волосы, сильно зависит от “меры испорченности” каждого конкретного специалиста.

Если авторы документа при построении классификации ориентировались преимущественно на конструкторов-универсалов, то психологически они, скорее всего, поступили правильно: охоту братья за “ужасно сложную” задачу они у конструкторов, надо полагать, отбили. Но, как мы уже говорили, вектор мейнстримизации CAE-инструментов связан, по нашему мнению, не только с расширением круга конструкторов-универсалов, самостоятельно проводящих инженерные расчеты, но и с приближением к команде конструкторов (или даже с вхождением в неё) инженеров-аналитиков, оснащенных персональными суперкомпьютерами.

✓ Из корректных способов отнесения MCAE-системы к тому или иному классу предпочтительными, по-видимому, являются два:

- использование оценок экспертов;
- скрупулезное сравнение пункт за пунктом функционала различных MCAE-систем.

Приведенные в документе мнения экспертов (см. следующий раздел), в основном, касаются их отношения к применению CAE-инструментов конструкторами-универсалами, а не собственно предложенной классификации. Таким образом, отношение экспертов к ней нам неизвестно.

При отсутствии экспертных оценок для определения принадлежности MCAE-системы к тому или иному классу можно опираться на таблицы поддерживаемых системой функций. К сожалению, судя по опубликованной информации, на исследовательской кухне Cyon Research посторонних “поваров” не ждут, поэтому и размещение продуктов по ячейкам никак не объясняется. Таким образом, нам и в этом случае неизвестно, какими критериями пользовались составители документа. Когда, по мере развития MCAE-систем, их функционал будет совершенствоваться и расширяться, применить авторские критерии для актуализации предложенной классификации мы не сможем.

Что можно посоветовать в этой связи нашим читателям? Видимо, взяться за дело самим и составить собственное представление о сложности

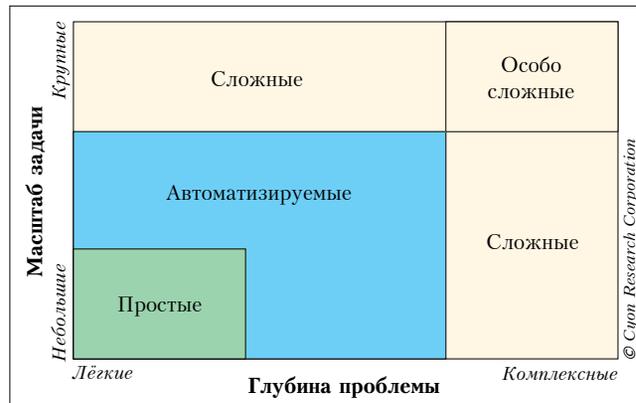


Рис. 3. Область автоматизируемых задач

МСАЕ-систем, ознакомившись с доступными на сайтах вендоров таблицами функционала различной степени подробности. Конечно, данный список, не является исчерпывающим, но для начала информации будет достаточно (ссылки расположены в алфавитном порядке, их работоспособность проверена 19 мая 2009 г.):

- www.adina.com/adina.pdf
- www.algor.com/products/capabilities/analysis.asp
- www.ansys.com/assets/brochures/ansys-capabilities-12.0.pdf (при желании читатели сами могут сравнить функционал продуктов компании ANSYS версии 12.0, выпущенной в конце апреля 2009 года, и предыдущей 11-й версии – www.ansys.com/assets/brochures/capabilities-brochure.pdf)
- usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?id=12555021&siteID=123112 (или, например, системы инженерного анализа и симуляции сторонних вендоров, сертифицированные для работы с САД-системой Autodesk Inventor на соответствующей аппаратной платформе – partnerproducts.autodesk.com/compatiblewith/inventor.asp)
- www.comsol.com/shared/downloads/products/specifications.pdf
- www.3ds.com/products/catia/portfolio/catia-v5r19/all-products/domain/Analysis?no_cache=1&cHash=8f92ccf56f (или САЕ-системы сторонних вендоров, усиливающие возможности пакетов CATIA и Abaqus – www.simulia.com/alliances/software_list.html)
- www.solidworks.com/sw/products/mechanical-design-software-matrix.htm.

Если на сайте интересующего вас поставщика такая таблица не выложена, то придется узнавать подобную информацию у вендора или его реселлера, а затем самому проводить сравнение функционала, чтобы определиться с принадлежностью продукта к тому или иному классу. При этом отталкиваться следует от задачи, которую вам, как потенциальному пользователю МСАЕ-системы, необходимо решить. По-видимому, другого эффективного способа для первоначального определения, в какой мере тот или иной продукт годится для решения ваших задач, не существует.

Следующий шаг – удостовериться, имеется ли реализация интересующего продукта на доступной для вашей организации аппаратной платформе, ознакомиться с информацией о проведенном тестировании, о порядке лицензирования продуктов и пр. Для этой цели тоже можно воспользоваться предоставленными на сайтах вендоров данными. В качестве примера приведем соответствующие ссылки на данные компании ANSYS, лидера рынка МСАЕ:

- www.ansys.com/services/ss-platform-table.asp
- www.ansys.com/services/ss-tested-systems.asp

А далее уже не обойтись без эксперимента – пробной эксплуатации МСАЕ-системы...

Конечно, все необходимые шаги (уточним, что предложенный выше план действий является скорее эскизным) проще всего сделать в

тесном контакте с реселлером выбранного продукта.

Высказывания поставщиков и заказчиков

В процессе работы над данным документом аналитики *Cyon Research* беседовали с руководителями всех ведущих компаний – поставщиков МСАЕ-систем, а также со многими заказчиками; был представлен широкий спектр разных по размеру организаций и управленческих уровней. Эти комментарии и наблюдения помогли составителям более глубоко разобраться в рынке МСАЕ-систем и отразить это понимание в документе (выделения жирным шрифтом в прямой речи сделаны *Cyon Research*).

Высказывания некоторых собеседников *Cyon Research* носили характер назиданий. Большая часть собеседников фокусировалась на необходимости понимания заказчиками проблем инженерного анализа. Некоторые специалисты выражали беспокойство в связи с тем, что пользователи-универсалы будут неправильно интерпретировать результаты проведенного ими самими анализа.

Dr. Bill Hall, находящийся на пенсии специалист НАСА в области инженерного анализа, много сделавший для распространения САЕ-технологий в космическом агентстве США, отметил: “Одного умения запускать FEA-программу недостаточно для того, чтобы конструктор мог получить содержательные (*meaningful*) результаты анализа. Учитывая современные возможности автоматической генерации расчетной сетки, практически каждый может создать модель для расчетов МКЭ. Вам надо также разбираться в разделах механики, связанных с анализом прочности (*structural mechanics*). **Необходимо и умение проверять, с помощью вычислений вручную или иным способом, имеют ли смысл полученные результаты**”.

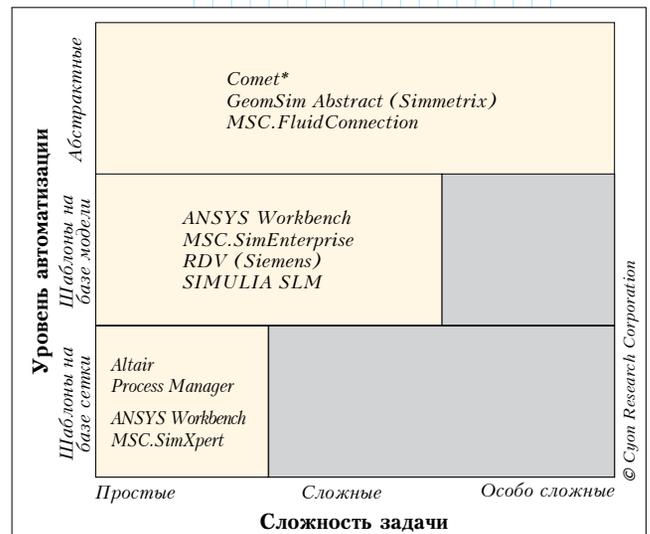


Рис. 4. Степень автоматизации

* Продукты компании Comet Solutions Inc. – Прим. авт.

На наш взгляд, здесь может подразумеваться сопоставление результатов, полученных на конечно-элементной модели с определенным набором параметров, с результатами анализа качественных (то есть не требующих вычислений) моделей, а также с результатами, полученными на простых моделях, допускающих в предельных случаях аналитическое, либо простое численное решение.

William Morgan из английской компании *Morgan Design Analysis Ltd.*, которая специализируется на проектировании и инженерном анализе поршневых механизмов: “Для проведения анализа необходимы специалисты. Очень немногие способны одновременно справиться с *CAD* и *FEA*. Это можно считать или не считать изъясном, но **вариант упрощения инженерного анализа до абсурда (*‘dumbing down’*) рассматривать не стоит**”.

Как утверждает студенческий фольклор физмата, истина сложнее, чем нам хотелось бы. Далеко не всегда в результате упрощения модели можно получить адекватное описание поведения исследуемого объекта или конструкции. Во всяком случае, критерием пригодности упрощенной модели должна быть согласованность расчетных и экспериментальных данных, а не возможность применения такой модели непрофессионалами.

Marc Halpern, директор по исследованиям в области проектирования и производства изделий из американской консалтинговой компании *Gartner*: “В случае применения стандартных методологий проектирования некоторые конструкторы могут делать это (то есть проводить инженерный анализ. – *Прим. авт.*). Поэтому в тех компаниях, которые используют *MCAE*-технологии постоянно, пользователи-специалисты должны передавать рутинную работу конструкторам. Однако специалисты при этом должны нести ответственность за применение этими конструкторами лучших практик. Тем компаниям, где необходимость в *MCAE* возникает лишь время от времени, а опыт сотрудников в этом деле незначителен, имеет смысл обращаться к консультантам в области *MCAE*-технологий, а не держать в штате обученную *MCAE*-команду”.

К чести поставщиков *MCAE*-систем надо отметить, что некоторые пакеты, созданные для применения пользователями-универсалами (особенно те, которые входят в состав *MCAD*-систем), разработаны в расчете на решение определенных типов задач. В некоторых пакетах предусматривается возможность побуждать пользователя оценивать корректность вопросов, которые он ставит.

При обсуждении рынка *MCAE*-систем аналитики *Cyon Research* слышали следующие соображения.

Dr. Garret Vanderplaats, CEO американской компании *Vanderplaats Research & Development (www.vrand.com)*, которая занимается разработкой *CAE*-систем для задач оптимизации: “Целью разработки изделия является проектирование и оптимизация его конструкции. В настоящее время мы располагаем развитыми инструментами для решения задач оптимизации. Слабым звеном программ, а значит и важным направлением их совершенствования, являются простота и удобство использования”.

Joe Walsh, вице-президент по развитию бизнеса *Simmetrix, Inc. (www.simmetrix.com)*: “Когда-то *CAE*-системы использовали только специалисты в области анализа. Разделение систем на категории происходило только по цене. Сейчас рынок определяется соревнованием продуктов, созданных для специалистов и неспециалистов”.

Уровень интеграции CAE	Полная интеграция	CATIA Analysis Femap Express Inventor Professional NX CAE SolidWorks*	SolidWorks Simulation (COSMOSWorks Advanced Professional)**	
	Интегрируемая система	ALGOR Professional Static/LM Femap c NX Nastran	ALGOR Professional MES ANSYS Workbench Femap c NX Nastran MSC.Nastran MSC.SimDesigner NX CAE	
	Автономная система	ALGOR Professional Designer COMSOL	Abaqus ANSYS Workbench COMSOL Altair HyperMesh/HyperWorks MSC.Nastran/ MSC.SimXpert/SimManager NX Nastran Star-CD	Abaqus AMPS*** Ansys Workbench Comet LS-DYNA NX CAE PAM-CRASH RADIOSS****
		Простые	Сложные	Особо сложные
Сложность задачи				

Рис. 5. Сопоставление степени интеграции *MCAE*-систем в процесс разработки изделия и сложности задач, решаемых с применением МКЭ

* В том числе SolidWorks, SolidWorks Office Professional и SolidWorks Office Premium

** После ребрендинга в 2008 году COSMOSWorks теперь называется SolidWorks Simulation. – Прим. авт.

*** AMPS Technologies Company является поставщиком продуктов AMPS (Advanced Multi-Physics Simulation) для особо сложного многодисциплинарного моделирования. – Прим. авт.

**** Решатели RADIOSS от Mecalog Group после приобретения в 2006 году компанией Altair Engineering, Inc. включены в HyperWorks. – Прим. авт.

И, наконец, при оценке такого показателя, как возврат инвестиций (*Return Of Investments – ROI*) для MCAE-систем, наблюдаются две устойчивые тенденции:

1) расширение возможностей CAE-инструментов, находящихся в руках инженеров-конструкторов;

2) расширение использования шаблонов, позволяющих автоматизировать процесс инженерного анализа и валидации конструкции.

Richard Bush, директор по маркетингу, *Digital Lifecycle Simulation, Siemens PLM Software*: “Позиция и стратегия *Siemens PLM Software* состоит в том, что симуляция должна применяться на всех этапах жизненного цикла изделия. Как только у вас появятся [развитые MCAE-возможности в среде разработки изделия], мне на ум приходит множество веских доводов, побуждающих наших заказчиков пользоваться этим в процессе проектирования.

Однако иногда проблема может возникнуть в другой плоскости. Часто конструктору необходимо знать ответ на достаточно простой вопрос. Однако с момента передачи вопроса команде инженеров-аналитиков до получения ответа могут пройти недели, и причина этому – не только объем невыполненных работ. Если специалисты в области анализа будут располагать инструментами разработки мастер-программ (*wizard*) для команды конструкторов, это позволит проектировщикам проводить надежный анализ в течение минут или часов.

[Одна] немецкая автомобильная компания предоставляет своим проектировщикам инструменты для инженерного анализа с целью совершенствования конструкции изделия перед этапом валидации. Важный побочный эффект такого подхода состоит в том, что каждая команда (инженеров-конструкторов и инженеров-аналитиков. – Прим. авт.) теперь лучше понимает проблемы, стоящие перед другой”.

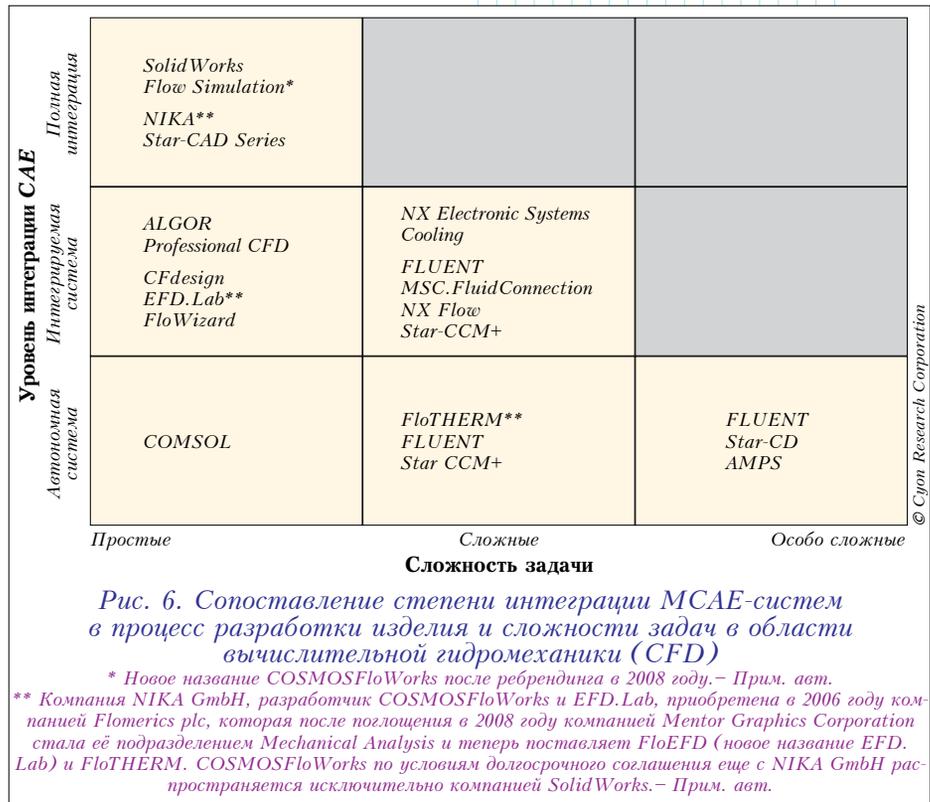
Jason Faircloth из американской компании *Marin Bikes* (www.marinbikes.com), производящей велосипеды: “Я являюсь менеджером и разработчиком изделий; мы – небольшая компания. До того, как мы получили [MCAD-систему класса мейнстрим в комплекте с MCAE-пакетом], на вывод нового изделия на рынок у меня обычно уходило

18 месяцев. Применение инструментов конечно-элементного анализа и анализа движения позволяет мне практически отказаться от физических прототипов. С появлением этого софта срок сократился до 9 месяцев – и делаем быстрее, и качество изделия лучше. За этим – наше будущее”.

На наш взгляд, примечательно, что *Cyon Research* приводит, в основном, высказывания представителей небольших компаний – разработчиков и пользователей MCAE-систем, хотя в начале раздела и говорилось, что беседы велись с руководителями всех ведущих компаний-поставщиков.

Было бы крайне любопытно прочитать о реакции на документ представителей лидеров MCAE-рынка – компаний *ANSYS* и *MSC Software*, поставляющих специализированные MCAE-решения, которые могут применяться и автономно – для “абстрактного” моделирования, и совместно с CAD-системами при обеспечении высокого уровня двусторонней интероперабельности, и быть интегрированными в PLM-систему (предоставляя при всем этом собственные средства управления процессом моделирования вплоть до уровня предприятия). Хотелось бы знать и мнение компании *Dassault Systèmes*, которая, как и засветившаяся в данном разделе *Siemens PLM Software*, является поставщиком MCAE-средств в составе PLM-системы.

Удивляет, что приведенные мнения вендоров и кастомеров относятся только к теме применения MCAE-систем профессионалами и



© Cyon Research Corporation

непрофессионалами, и совершенно отсутствуют высказывания о предлагаемой *Cyon Research* классификации *MCAE*-систем и построенных “карт” рынка.

Думается, что умолчания в данном случае вряд ли помогут популяризации и более быстрому продвижению на рынок *MCAE*-инструментов, встроенных в *MCAD*-системы, и *MCAE*-средств для класса автоматизируемых задач, а также вряд ли увеличат объем реализации этих инструментов. Более того, логично было бы отдельно обсудить возникшие противоречия, если таковые имеются, что способствовало бы дальнейшему движению к построению классификации, полезной для всех.

Будущее *MCAE*

Как отмечают специалисты *Cyon Research*, рынок *MCAE*-систем меняется. Центр “притяжения” смещается от сложных инструментов, предназначенных для инженерного анализа в какой-то определенной области и рассчитанных на применение только высококвалифицированными специалистами, к более доступным продуктам с развитым функционалом, пользоваться которыми могут инженеры-универсалы, имеющие относительно невысокую квалификацию в области физики. Проведение сложного инженерного анализа не является теперь исключительной прерогативой крупных компаний. Многие небольшие компании пользуются новейшими достижениями в области инженерного анализа и симуляции, которые позволяют существенно сократить количество физических прототипов или даже полностью отказаться от их изготовления, как это сделала упомянутая выше компания *Marin Bikes*. Внедрение *MCAE*-инструментов будет ускоряться по мере углубления их интеграции в массовые *MCAD*-системы.

Новые интеллектуальные программные инструменты радикально изменят способы применения *MCAE*. Предвестниками здесь являются препроцессоры для абстрактного моделирования (*abstract modeling preprocessor*). В качестве примера можно привести разработки американских компаний *Comet Solutions* (www.cometsolutions.com) и уже упомянутой *Simmetrix*. (Их продукты базируются на подходах, названных соответственно *Abstract Engineering Model* и *Simulation-Based Design*. – Прим. авт.) Помимо прочих преимуществ, в этом случае всем инженерам-конструкторам становятся доступными знания экспертов в области инженерного анализа – в гораздо большем объеме, чем это имеет место в случае использования шаблонов.

Постоянный рост производительности компьютеров позволяет создавать доступные всем пользователям инструменты инженерного анализа со всё более развитым функционалом – к примеру, теперь возможен инженерный анализ и оптимизация изделия с учетом статистических закономерностей.

Другой важной областью роста является интеграция и симуляция на системном уровне (*system-level integration and simulation*). Роль *PIDO* будет возрастать по мере развития инструментов для интеграции и симуляции на системном уровне.

По мнению *Cyon Research*, устойчивый рост рынка *MCAE*-систем будет продолжаться. При этом ведущие позиции на рынке будут занимать инструменты для решения задач, относящихся к классу “простых”. Это мнение основывается на быстром росте (в процентном выражении) объема продаж таких массовых *MCAD*-систем, в комплектацию которых входит *MCAE*-инструментарий. Речь идет о пакетах *SolidWorks Office Premium*, *Solid Edge с Femap Express*, а также *Autodesk Inventor Professional* (или *Autodesk Inventor Simulation Suite*). За последние пять лет доля перечисленных продуктов в общем объеме продаж массовых *MCAD*-систем выросла с 2% до более чем 15%.

Здесь уместно напомнить, что последнее предложение, практически слово в слово, уже присутствовало в первой части статьи (см. #1/2009). Изменились только цифры. Рост доли массовых *MCAE*-систем в объеме продаж составил доли документа здесь, по-видимому, оценили в стоимостном выражении, в отличие от указанного ранее роста числа рабочих мест с 5% до 20%.

Нам бы хотелось предостеречь читателей, чтобы они не рассматривали эти цифры как универсальные показатели для всего рынка *MCAE*.

Известно, что вендоры очень неохотно делятся подробной информацией. Особенно это относится к данным по структуре продаж различных программных продуктов. Объяснить это просто: бухгалтерские установления о финансовой отчетности этого не требуют даже от публичных компаний. А в конкурентной борьбе знание истинной раскладки объемов и номенклатуры продаж соперника, особенно в сравнении за несколько лет, может оказаться важной пищей для размышлений при выборе направления дальнейшего развития из нескольких альтернативных вариантов...

Нет ничего удивительного в том, что компании *Autodesk* и *SolidWorks* предоставили такие данные авторам спонсируемого ими исследования. Однако обратите внимание – приводятся только относительные цифры, а данные в стоимостном выражении отсутствуют даже для спонсоров. Не исключено, что причиной отказа лидеров рынка *MCAE* поучаствовать в обсуждении (помимо их, вероятнее всего, настороженного отношения к концепции данного документа) было и желание *Cyon Research* увидеть их финансовые показатели.

И еще одно замечание о простых задачах необходимо сделать в этом месте. Как уже отмечалось, составители документа, к сожалению, не сформулировали полный набор критериев – как

количественных (фактически конкретизировано только число степеней свободы для определения “крупная” задача или нет), так и качественных, которые позволили бы отнести ту или иную задачу к классу “простых”. Соответственно, нет надежных критериев и для того, чтобы причислить ту или иную MCAE-систему к классу инструментов для решения “простых” задач. Таким образом, нам предлагается опираться на интуитивное понимание простоты и сложности.

В этой связи можно отметить, что, кроме продуктов Autodesk (особенно после приобретения ею в декабре 2008 года компании Algor) и SolidWorks, свою долю в нише инструментов для простых задач имеют и продукты лидеров MCAE-рынка – DesignSpace от ANSYS, MSC. SimOffice от MSC.Software, Femap Express из пакета Velocity Series от Siemens PLM Software, CATIA Analysis из CATIA PLM Express от Dassault Systèmes, а также инженерные приложения от других вендоров, сертифицированные для совместной работы с наиболее популярными MCAD-системами. Сравнительные исследования доходов вендоров в этом рыночном сегменте составителями документа не проводились.

По мнению Cyon Research, упомянутый рост будет определяться процессами на глобальном промышленном рынке, где наблюдается следующее:

- самая острая конкуренция, чем когда бы то ни было;
- скорость вывода изделия на рынок стала критическим фактором, определяющим рыночный успех;
- заказчики стали в гораздо меньшей степени, чем ранее, терпимыми к низкому качеству изделий и задержкам поставок.

Для решения перечисленных проблем имеются проверенные MCAE-средства.

Поскольку в области моделирования еще достаточно нерешенных задач, аналитики Cyon Research считают, что рынок новых инструментов инженерного анализа, соответствующих новейшим научным достижениям, будет расти. Однако темпы роста этого сегмента, по их прогнозам, не будут столь высокими, как у сегмента инструментов для решения задач, относящихся к классу простых.

Достижения в области информационных технологий способствуют развитию этих тенденций. Персональные компьютеры в настоящее время уже обладают достаточной производительностью для решения задач, относящихся к классу крупных и комплексных. Цены на компьютеры огромной производительности для параллельных вычислений значительно снизились. Пользовательские интерфейсы стали более удобными и понятными. Интернет – как в плане скорости, так и объема передаваемой информации – обеспечивает коллаборативные возможности на немыслимом ранее уровне.

В отношении последнего абзаца разногласий с Cyon Research у нас не возникло. На персональных компьютерах уже сегодня стоят двух- или четырехъядерные процессоры, на подходе – восьмиядерные... Так что параллельные вычисления на персональных компьютерах можно проводить уже сейчас. Кроме того, развивается целый класс новых устройств – персональные суперкомпьютеры, использующие популярную блейд-серверную архитектуру (в этом сегменте рынка проявился новый старый бренд Cray). Преодолены и важные психологические ценовые барьеры – менее 100 тыс. долл., менее 50 тыс., менее 25 тыс. – в зависимости от конфигурации.

Самым существенным, указывает Cyon Research, возможно является то, что появилось новое поколение инженеров, которые свободно владеют компьютерами, и для которых компьютеры являются естественными инструментами в работе. Для многих инженеров изучение MCAE было составной частью их базового образования. Это говорит о том, что происходят глубинные изменения в “социологии” разработки изделий, а существовавшие ранее организационные барьеры, которые сдерживали “демократизацию” инженерного анализа, просто исчезают на глазах.

На наш взгляд, это действительно важный шаг в плане расширения использования MCAE-систем в процессе проектирования изделий. Однако не следует также и переоценивать эту тенденцию. Даже при наличии самого блестящего университетского образования, сферы деятельности инженера-конструктора и инженера-аналитика существенно разнятся. Если попытаться сравнить главное в деятельности каждого из них, в первую очередь следует выделить разный способ мышления. Основа работы конструктора, говоря философскими категориями, – синтез конструкции изделия, в то время как у специалиста в области моделирования – анализ, причем не конструкции изделия как таковой, а физических полей, определяющих разнообразные свойства изделия, технологий его изготовления и других важных аспектов. Сложно надеяться, что два существенно отличных дарования гармонично объединятся в одной голове среднестатистического инженера, чтобы после обучения он стал инженером-конструктором-аналитиком-универсалом. При всей важности создания условий для достижения фундаментальной образованности студентами инженерных вузов, не стоит забывать и о специализации, которая, при прочих равных условиях, позволяет добиться более высокой квалификации каждого отдельного выпускника в выбранной им сфере.

В крупных компаниях MCAE уже в течение длительного времени играет важную роль в процессе разработки изделий, при этом инструменты инженерного анализа обычно находятся в руках у специалистов. Теперь роль этих инструментов

может расширяться за счет их использования инженерами-конструкторами. А в небольших компаниях для MCAE-систем завершается этап, когда инструменты для анализа “неплохо было бы иметь”, и наступает этап, когда они становятся важнейшим фактором обеспечения конкурентоспособности.

Здесь, вспомнив старую притчу, хочется посоветовать, чтобы любая компания бралась лишь за те задачи моделирования, которые может решить, и не бралась за те, которые решить не может. А самое главное, чтобы руководство компании обладало мудростью, дабы отличать первую, сравнительно небольшую группу задач от второй – гораздо более обширной.

Рекомендации Cyon Research

Понимание культуры, сложившейся вокруг инженерного анализа, является полезным как для пользователей MCAE-технологий, так и для их поставщиков. Формирование этой культуры, как и всех других, происходит не только на основе рациональных соображений.

Kishore Boyalakuntla, руководитель подразделения *Simulation Product Management* компании *SolidWorks*, делится своим опытом: “Есть смысл в том, чтобы проектировщик изделия в процессе создания 3D-модели проводил виртуальную проверку своей конструкции и заложенных в неё идей. С появлением удобных в использовании, функционально развитых и доступных по цене инструментов для симуляции, мне удалось отметить значительные изменения в изделиях, выпускаемых на рынок, когда конструкторы, которые никогда прежде не анализировали свои изделия, стали успешно применять эти инструменты и создавать более качественные изделия. Необходимость сокращения издержек, разработки новых продуктов и увеличения производительности привела к существенному расширению использования инструментов инженерного анализа как инженерами-конструкторами, так и инженерами-аналитиками. В ряде компаний мы наблюдали, как специалисты в области анализа занимались обучением конструкторов, когда тем требовалось решать сложные задачи анализа.

Думаю, утверждение, что конструкторы не могут успешно проводить инженерный анализ для разработки более качественных изделий, просто уводит от сути дела. Конечно, результаты анализа должны подтверждаться результатами натурных испытаний или сделанными вручную расчетами. Однако я столкнулся с тем, что инженеры довольно скептически относятся к результатам анализа и не жалеют времени, чтобы убедиться в их точности. Каждый год всё более сложный функционал переходит в класс массового, и появляются инновационные разработки, пополняющие технологии симуляции. Мы считаем, что тенденция продолжится

и в дальнейшем. Аналогично тому, как в прошлом десятилетии произошло слияние черчения и 3D-моделирования, в грядущем десятилетии я жду слияния 3D-моделирования и инженерного анализа”.

Высказанные соображения проливают свет на чрезвычайно важную для развития бизнеса проблему, связанную с применением MCAE. Если природа проблемы связана с культурным явлением, то в этом случае сама проблема по определению является сложной для понимания членами этого культурного сообщества.

Вдобавок к естественной (*natural*) классификации задач, предложенной в данном документе, имеются два направления использования MCAE-систем (*usage clusters*) любого класса, с которыми должны считаться их вендоры и заказчики:

1) первое направление – начальная проверка исходных предположений и вариантов конструкции в рамках итерационного процесса разработки изделия.

2) второе направление – применение MCAE для детального инженерного анализа и всесторонней проверки конструкции проектируемого изделия.

В обоих случаях использование MCAE-систем позволяет или существенно сократить, или же вовсе свести на нет необходимость изготовления физических прототипов для проверки конструкции изделия.

В первом случае от MCAE-системы требуются:

- простота первоначального освоения и последующего углубленного обучения, удобство в использовании;
- “бесшовная” интеграция с MCAD-системой;
- четкое представление результатов в графической форме;
- быстрое выполнение всего цикла инженерного анализа;
- рекомендации по интерпретации результатов.

Во втором случае от MCAE-системы требуются:

- великолепные средства управления данными и процессами;
- возможности различного представления полученных результатов, способствующие их анализу “вдоль и поперек”;
- максимальная точность расчетов, даже если увеличивается длительность цикла обработки.

Для процессов разработки и производства изделия, даже в рамках одной компании, характерны оба вида использования MCAE-систем. Однако для каждого из них различаются требования к интерфейсу пользователя, графике обучения, уровню интеграции с MCAD-системой и т.д.

Заказчикам, которые рассматривают возможности приобретения MCAE-системы, *Cyon Research* рекомендует, прежде чем заняться оценкой новых для них технологий, ответить на следующие вопросы.

✓ На вопросы какого типа вы хотите получить ответ с помощью инженерного анализа? Насколько задачи, которые вам необходимо решить, соответствуют предположенной классификации? Относятся ли ваши задачи в основном к классу простых?

Выясните, какие встроенные MCAE-инструменты имеются в вашей MCAD-системе. Если ваши задачи относятся к классу сложных или автоматизируемых, то рекомендуется в первую очередь ознакомиться с инструментами, предназначенными для решения этих классов задач.

✓ Какие бизнес-задачи может решить ваша компания с помощью MCAE-системы?

Примеры:

- сокращение объема физических испытаний;
- проверка окончательного варианта конструкции изделия до изготовления прототипа;
- проверка соответствия требованиям нормативов;

• проверка конструкции изделия до выхода извещения об изменениях (*Engineering Change Order – ECO*);

• оптимизация характеристик изделия, в том числе – отношения предела прочности к массе (*strength-to-weight ratio*);

• изучение распределения напряжений и температуры в узлах изделия, которые нельзя определить с помощью натуральных экспериментов;

• проверка идей, заложенных в конструкцию изделия, до начала детального проектирования.

✓ Какова приоритетность задач, стоящих перед вашей компанией? В каком порядке эти задачи необходимо решать?

✓ Какие виды физических задач надо решить в процессе инженерного анализа или симуляции, чтобы достичь бизнес-целей компании?

В качестве примера перечислим:

- модальный анализ (*modal analysis*);
- анализ напряженно-деформированного состояния в зависимости от нагружения;
- анализ усталости конструкции (*fatigue analysis*);

• испытания конструкции при ударном нагружении (*drop testing*);

• анализ шума, вибраций и низкочастотных вибраций конструкции (*noise, vibration, and harshness*);

• анализ конструкции в случае динамического нагружения (*dynamic loading*);

• моделирование гидродинамических процессов;

• моделирование теплопереноса, в том числе с учетом теплопроводности, конвективного и радиационного теплообмена;

• моделирование технологических процессов, в том числе листовой штамповки (*stamping*) и горячей объемной штамповки (*forging*);

• моделирование электрического поля.

✓ На какой стадии процесса разработки изделия вы считаете необходимым проводить основной объем работ по инженерному анализу?

Примеры:

• до этапа детального проектирования первоначального варианта конструкции изделия (*initial detailed design*);

• во время проектирования первоначального варианта конструкции (*initial design*), но до этапа детальной проработки окончательного варианта (*final detailing*);

• после создания окончательного варианта конструкции изделия (*final design*),

• после изменений конструкции, влияющих на её прочность, в соответствии с извещениями о внесении конструкторских изменений.

✓ На каком участке “карты” рынка, где показана область автоматизируемых задачи в зависимости от их масштаба и сложности (рис. 3), можно расположить ваши задачи?

✓ Кто будет проводить инженерный анализ каждого вида? Конструкторы-универсалы и менеджеры проекта? Специалисты в области инженерного анализа? И те, и другие? Являются ли пользователи внешними подрядчиками или сотрудниками вашей компании? Или, возможно, это и те, и другие?

✓ Имеется ли в настоящий момент у вашей компании опыт проведения инженерного анализа в необходимом объеме? Или же вам придется приглашать на работу специалистов в области MCAE-технологий?

Если вы решили начинать инженерный анализ на ранней стадии процесса проектирования, необходимо реорганизовать бизнес-процессы до того, как оценивать необходимые MCAE-инструменты. Если привлекаются соответствующие специалисты-аналитики, прикрепите их к группе разработчиков изделия, чтобы они могли проводить инженерный анализ изделия на ранней стадии проектирования. Нет необходимости сразу делать инвестиции в новые технологии для того, чтобы получить выгоду от анализа в процессе проектирования. Когда специалисты в области анализа начнут работать в тесном контакте с конструкторами, будет больше понимания того, как нужно улучшить информационные потоки из CAD- в CAE-систему и обратно.

После того, как вы расставите приоритеты, касающиеся инженерного анализа, и осуществите необходимую реорганизацию, вы будете лучше экипированы для оценки новых MCAE-технологий. Не старайтесь решить сразу все свои задачи. Опасайтесь компаний-поставщиков, предлагающих панацею на все случаи жизни. Сосредоточьте свои ресурсы на решении наиболее важных для бизнеса задач. Затем постепенно совершенствуйте бизнес-процессы в соответствии с их приоритетами.

Современные MCAE-системы предлагают развитый функционал, о котором раньше можно было только мечтать, для широкого круга заказчиков. При условии необходимых приготовлений и обучения своих сотрудников, ваша

организация сможет добиться значительного повышения эффективности своей деятельности.

Резюме *Observer'a*

В финальном разделе статьи мы не будем повторно воспроизводить наши комментарии, в изобилии разбросанные по тексту рассматриваемого документа *Cyon Research*, а остановимся на трех основных, по нашему мнению, проблемах.

1 Классификация *МСАЕ*-систем

Построив “карту” рынка и дав несколько её “срезов”, создатели документа, по-видимому, сделали лишь первый шаг в направлении построения классификации *МСАЕ*-систем. Четкие количественные и качественные критерии, по которым ту или иную *МСАЕ*-систему можно отнести к тому или иному классу, пока еще не сформулированы. Вероятно, в процессе дальнейшей работы могут трансформироваться и сами классы.

Единственный количественный критерий, предложенный составителями документа, касается размерности задачи. В зависимости от применяемого численного алгоритма, оценивается или число степеней свободы модели, или число конечных элементов, или число конечно-разностных ячеек, или число контрольных объемов. То есть, речь идет о конечном числе дискретных элементов, на которые разделяется исследуемая область перед проведением расчетов при аппроксимации непрерывной “сплошной среды” – универсальной модели для описания физических полей, возникающих в задачах инженерного анализа. Что ж, начало положено...

Серьезная классификация не может ограничиться беглым упоминанием в самом общем виде (а то и неупоминанием) и сухой дефиницией “сложные” (или даже “ужасно сложные”) для целых классов действительно сложных задач, таких как:

- задачи оптимизации – например, связанные с определением оптимального набора параметров модели для заданного набора критериев;
- обратные задачи – например, связанные с восстановлением формы модели по результатам измерений (обратный инжиниринг);
- нестационарные задачи, связанные с изучением неустойчивости и переходных режимов – например, турбулентные течения;
- существенно нелинейные задачи, в которых свойства нелинейности проявляются и в уравнениях, и в граничных условиях, и уравнениях, определяющих свойства материалов;
- задачи с заранее неизвестными границами, в которых необходимо определить, например, форму свободной поверхности и положение фронта кристаллизации расплава;
- задачи с фазовым переходом, когда во время рабочего цикла меняется агрегатное состояние рабочего тела.

Даже краткое их рассмотрение свидетельствовало бы, по меньшей мере, о серьезности

и добросовестности подхода. В любом случае выработка критериев и собственно построение классификации *МСАЕ*-систем потребует, по всей вероятности, значительного времени, а для решения этой проблемы необходимы объединенные усилия множества профессионалов разного профиля – в том числе, проектировщиков изделий, разработчиков программного обеспечения, специалистов инженерного анализа и симуляции, а также в сфере маркетинга.

2 Массовые *МСАЕ*-системы и естественнонаучное образование конструкторов

Конечно, для определенных классов задач (в первую очередь это касается прочностных расчетов) в настоящее время существует принципиальная возможность создания шаблонов для моделирования, которые станут основой массовых *МСАЕ*-систем. Однако лишь очень небольшое количество классов задач может похвастаться тем, что хорошо отработаны как разные варианты их постановки, так и методы расчета (которые, как в случае прочностных расчетов, восходят еще к сопромату, не говоря уже о том, что к решению задач такого типа среднестатистический инженер-конструктор подготовлен еще со студенческих времен).

Но что делать “массовикам” с необходимостью анализа инновационных изделий – таких, как печатающие головки струйных принтеров, имеющих действительно массовый сбыт? Сложно представить, что среднестатистический инженер будет настолько хорошо подготовлен в вузе и успеет накопить опыт для решения сложнейших задач гидродинамики, где даже у профессионалов инженерного анализа интуиция нарабатывается годами.

А сколько времени надо будет потратить на исследование новой области и построение расчетных моделей различной сложности, чтобы подготовить шаблоны для моделирования и на их основе сделать массовый *САЕ*-инструмент, “заточив” профессиональное *САЕ*-средство под конструктора-универсала? То есть, фигурально выражаясь, построить в новой области анализа систему моделей для инженерных расчетов “а-ля сопромат”...

Как бы то ни было, разработка и распространение массовых *МСАЕ*-систем для решения широкого круга задач инженерного анализа и симуляции станут результатом долговременного сотрудничества на равноправной основе, что потребует значительных усилий групп заинтересованных специалистов в области проектирования изделий, инженерного анализа и симуляции, разработки ПО, а также в сфере маркетинга.

3 Мейнстримовский вектор в применении *МСАЕ*-систем

Нам представляется, что мейнстрим (естественно, не в аспекте количества лицензий

на душу населения) в отношении *MCAE*-систем будет связан с решением многодисциплинарных задач с использованием алгоритмов параллельных вычислений на многоядерных персональных компьютерах и персональных суперкомпьютерах – настольных системах для высокопроизводительных вычислений (*high-performance computing* – *HPC*). При этом работы по решению задач моделирования (симуляции) будут выполняться специалистами в области инженерного анализа, а сами специалисты будут являться полноправными членами команды разработчиков на всех этапах жизненного цикла изделия.

В любом случае понадобится гармоничное распределение обязанностей по созданию расчетных моделей и методов расчетов, а также проведению вычислений различной сложности и анализу их результатов между следующими группами специалистов различной квалификации:

- конструкторами-универсалами;
- инженерами-аналитиками – возможно, объединенными в специальное подразделение (отдельный непростой вопрос, тоже требующий анализа: оптимален ли подход, предлагающий держать их в штате компании?);
- сторонними компаниями, которые на условиях аутсорсинга выполняют заказы компании – разработчика изделия.

Обмен мнениями между авторами статьи с авторами документа

Основные мысли, изложенные в комментариях к предложенной классификации, один из авторов статьи – *Dr. Phys.* Сергей Павлов, редактор журнала “*CAD/CAM/CAE Observer*” (sergey@cadcamcae.lv) и научный сотрудник Латвийского университета (Sergey.Pavlov@modulus.lv), обозначил в ходе обмена мнениями с представителями авторского коллектива составителей документа “*Classes of MCAE software: clarifying the market*”. В переписке участвовали: **W. Bradley Holtz**, главный исполнительный директор *Cyon Research Corporation* (Brad.Holtz@CyonResearch.com), и **Dr. Joel N. Orr**, вице-президент, ведущий прогнозист и стратег компании, доктор математики (Joel.Orr@CyonResearch.com).

– **С.П.:** Предложенные карты рынка *MCAE* очень полезны для понимания структуры рынка. Однако, к сожалению, мы не нашли в Вашем документе описания критериев классификации *MCAE*-систем. Клиентам

будет крайне сложно выбрать подходящую *MCAE*-систему для решения стоящих перед ними задач. По этой причине приходится рекомендовать им детально анализировать и сравнивать таблицы функционала *MCAE*-систем на сайтах поставщиков.

– **В.Н. & J.O.:** Конечно, Ваше замечание о том, что мы не включили детальные критерии классификации *MCAE*-систем, справедливы. В результате проведенных исследований мы поняли, что создание подобной классификации выходит за рамки настоящего документа.

– **С.П.:** Мы согласны с Вами, что функционал массовых *CAE*-систем будет расширяться за счет шаблонов для моделирования, разработанных специалистами в области инженерного анализа. Однако мы считаем, что цена приобретения подобных *CAE*-систем существенно меньше стоимости владения, поскольку придется нести расходы и на естественнонаучное образование конструкторов. Развить в процессе обучения специалиста в области инженерного анализа его способности к постижению сути задачи, создать условия для приобретения им квалификации и наработки необходимого опыта так же сложно, как и развить способности проектировщика изделий.

– **В.Н. & J.O.:** Мы считаем, это – основной вопрос, по которому у нас расходятся мнения.

Вендоры массовых *CAE*-систем пропагандируют применение этих продуктов инженерами-конструкторами с относительно невысоким уровнем образования в области естественных наук, и у них имеются многочисленные подтверждения успешности такого подхода. Это с трудом воспринимается многими опытными профессионалами, но является проверенным фактом.

– **С.П.:** По нашему мнению, мейнстримовское направление развития и применения *MCAE*-систем связано с параллельными вычислениями на персональных суперкомпьютерах. Расчеты при этом выполняются специалистами в области инженерного анализа, которые являются полноправными членами команды разработчиков изделий.

– **В.Н. & J.O.:** Мы считаем, что каждая команда разработчиков изделий хотела бы иметь в своем составе специалиста в области анализа. Однако это слишком дорого для небольших компаний. Поэтому мы думаем, что шаблоны для симуляции, по-видимому, наиболее широко будут использоваться инженерами-конструкторами, у которых нет доступа к *CAE*-специалисту. ☹



W. Bradley Holtz



Dr. Joel N. Orr