

Публикация в начале июля 2008 года известной Американской консалтинговой компанией *Cyon Research Corporation* солидного 23-страничного аналитического материала под названием “Классификация MCAE-систем проливает свет на структуру рынка” (“*Classes of MCAE software: clarifying the market*”, <http://cyonresearch.com/WhitePapers.aspx>) побудила нас взяться за перо по нескольким причинам.

Во-первых, насколько нам известно, классификация систем инженерного анализа для машиностроения (*Mechanical Computer-Aided Engineering – MCAE*) предлагается впервые, и нам самим хотелось бы иметь под рукой (а также предложить нашим читателям) терминологически корректный перевод этого документа, который отличался бы по качеству от оперативно появляющихся электронных публикаций.

Во-вторых, выработка общеупотребительной классификации MCAE-систем, применение которых только набирает популярность как полноправная составная часть жизненного цикла любого проектируемого изделия (а не только продукции оборонной, авиакосмической и автомобильной отраслей), будет, по всей видимости, делом не одного года. В этой связи возникло желание снабдить документ своими, пусть и немногочисленными, комментариями – с позиций концепции PLM и на основе своего опыта использования аналитических программных средств в научных исследованиях и при проектировании изделий, уходящего корнями еще во времена мейнфреймов.

И, наконец, в-третьих, не будем забывать, что в этом несовершенном мире всегда существует соблазн применять различного рода классификации в качестве маркетинговых инструментов для продвижения программных продуктов (в первую очередь это относится к поставщикам PLM-решений среднего класса). Поэтому нам сразу хотелось бы предупредить читателей, чтобы они обращали внимание на акцентирование “стирания граней” (если таковые попытки будут иметь место) между системами классов *mid-range* и *high-end*. К сожалению, в своём предыдущем исследовании, касающемся классификации CAD-систем (этот документ подробно рассматривался нашим журналом чуть больше года назад – см. статью “О ‘новом взгляде’ на классификацию САПР”, *Observer* ##5,6/2007), этого соблазна авторы не избежали.

Нельзя не отметить, что работа *Cyon Research* получила частичную финансовую поддержку со стороны компаний *Autodesk* и *SolidWorks*. Первая активно продвигает на рынке свою концепцию цифрового прототипа (*digital prototyping*) на базе системы *Inventor* класса *mid-range* (согласно классификации *Cyon Research*, ныне именуемому *mainstream*); набор же её MCAE-решений пополняется в основном за счет покупки технологий (последнее приобретение – компания *ALGOR*). Вторая, в качестве приложения к своему флагманскому продукту *SolidWorks*, предлагает MCAE-системы *COSMOSWorks* и *SolidWorks Flow Simulation*.

Объем подготовленного материала весьма обширен, что вынуждает нас опубликовать его частями.

К вопросу о классификации MCAE-систем

Часть I

Сергей Павлов, к.ф.-м.н., Юрий Береза (*Observer*)

observer@cadcamcae.lv

Краткое содержание

Компания *Cyon Research* выработала свой подход к анализу рынка, который, как надеются в компании, окажется полезен для читателей и облегчит понимание происходящего. *Cyon Research* делит рынок на сегменты в зависимости от типа задач, стоящих перед пользователями систем и моделируемых процессов.

На взгляд *Cyon Research*, одним из важных признаков при классификации MCAE-систем является **сложность** (*difficulty*) решаемых задач, которые лежат в диапазоне от простых и понятных (*straightforward*) до чрезвычайно сложных (“*hairy*”). Другим признаком классификации является **масштаб** задачи (*scale*) – то есть характерный размер отдельных элементов модели или всей модели в целом. Пользуясь этим признаком, можно выделить, например, крупные (*big*) задачи. Еще одним признаком классификации является **необходимая для решения задачи последовательность операций** (*workflow*). Так, например, в ряде случаев необходимо проведение итераций в ручном или полуавтоматическом режиме.

Таким образом, решаемые с помощью MCAE-систем задачи могут отличаться масштабом, сложностью

и последовательностью операций, необходимой для достижения результата.

Более того, если сложность или степень интеграции (*complexity*) задач возрастает, то становится всё труднее отслеживать сами решаемые задачи и используемые последовательности операций. Для управления данными и выполняемой с помощью MCAE-системы последовательности операций (вычислительным процессом) появился ряд программных средств. В *Cyon Research* эту категорию ПО называют системами управления симуляцией изделия, представленного в цифровой форме (*Digital Product Simulation Management – PSM*).

На наш взгляд, более логичным и понятным является всё же термин “система SPDM” (то есть *Simulation and Process Data Management* – система управления данными и процессами симуляции).

Cyon Research отмечает, что классификация MCAE-систем “естественным образом” сложилась в ходе дискуссий специалистов компании с поставщиками и заказчиками MCAE-решений. Она стала основой для построения графической “карты” отрасли MCAE (рис. 1). Эта “карта” была проверена в общении с пользователями, поставщиками и аналитиками отрасли, и

теперь *Cyon Research* предлагает ряд рекомендаций для потенциальных пользователей МСАЕ-систем.

В подготовленном *Cyon Research* документе рассматриваются различные группы заказчиков МСАЕ-систем и предлагаются “естественная” (*natural*) классификация программных средств. “Карта” рынка МСАЕ подробно обсуждается в соответствии со схематично отображенной классификацией решаемых задач.

Кроме того, сформулирован ряд замечаний и рекомендаций для инженеров-расчетчиков и руководителей, которые изучают возможности приобретения МСАЕ-систем.

На наш взгляд, здесь авторы попытались свести на одной простой и наглядной картинке все предлагаемые ими признаки классификации (которые подробно будут рассмотрены во второй части этого материала). Видимо, это должно было продемонстрировать многомерность самой проблемы.

Насколько удачно такое представление – это мы выясним позже, когда будет обсуждаться классификация САЕ-систем по критерию сложности. Отметим лишь некоторую нестыковку. Для иллюстрации своего подхода авторы построили еще несколько более подробных “карт”, которые, однако же, сложно трактовать только как уточнение первой.

Введение

Как отмечают специалисты *Cyon Research*, изначально программные средства класса МСАЕ представляли собой инструменты для инженеров, занимающихся прочностными расчетами для нужд авиакосмической промышленности. Со временем сфера применения МСАЕ расширилась. Впоследствии появилась и необходимость в инструментах управления данными и процессами.

Как поставщики, так и заказчики признают значимость всестороннего (комплексного) исследования проектируемого изделия. Идея заключается в том, что кульминацией инженерного анализа является желание получить изделие в цифровой форме и применить к ней всевозможные виды тестирования, которые, в случае использования физического прототипа, оказались бы слишком дорогостоящими и трудоемкими. И хотя существующие средства инженерного анализа всё еще далеки от совершенства, даже частичную реализацию этой мечты трудно переоценить.

Функционал МСАЕ-систем, напоминает *Cyon Research*, постоянно развивается. Новые алгоритмы для решения всё более сложных аналитических задач для нужд машиностроения максимально используют возрастающую мощь компьютерных платформ. Непрерывно совершенствуются алгоритмы автоматизированного построения расчетной сетки, упрощается пользовательский интерфейс, расширяются средства учета различных видов нелинейности решаемой задачи; возможности моделирования становятся всё более универсальными; развиваются и многие другие аспекты МСАЕ-систем. В настоящее время, предлагаются сотни продуктов класса МСАЕ, предназначенных для решения широкого круга задач. Примерно две трети доходов глобального рынка МСАЕ-систем приходится на долю компаний *Altair*, *ANSYS*, *Dassault Systèmes*,



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

MSC.Software и *Siemens* (перечислены в алфавитном порядке). Однако ясного представления о структуре рынка у заказчиков нет. Существует некоторое разделение рынка на сегменты по ценам, но какой-либо четкой взаимосвязи между стоимостью продукта и его функциональными возможностями не наблюдается. Отсутствует также очевидная для пользователя корреляция между стоимостью и удобством; было даже обнаружено, что дорогими программами зачастую сложнее пользоваться, чем более дешёвыми.

Аналитики *Cyon Research* утверждают, что в процессе анализа рынка машиностроительных САЕ-систем (*Mechanical Computer-Aided Design*) им удалось разработать методологию, позволяющую определить характерные особенности этого рынка. С точки зрения *Cyon Research*, кажется логичным применить эту методологию к рынку МСАЕ-систем (сделав акцент на МСАЕ-системах, базирующихся на геометрическом представлении анализируемого изделия (*geometry-based MCAE*)), чтобы выяснить, имеются ли основания для введения схожих определений для соответствующих классов программ. Тогда, в результате анализа МСАЕ-систем, ими были выделены два сегмента рынка, различающиеся ценами на продукты, моделью дистрибуции и принципиальными отличиями потребностей пользователей МСАЕ-систем. Эти сегменты рынков были названы как “*mainstream*” (прежде известный как “*mid-range*”) и “*specialized*” (ранее именованный “*high-end*”).

Критическое мнение редакции *Observer*’а об этом исследовании *Cyon Research* подробно изложено в статье “О “новом взгляде” на классификацию САЕ” (*Observer* #5,6/2007).

Результаты предварительного анализа рынка МСАЕ-систем вселяли аналитикам *Cyon Research* надежду, что эти программные инструменты, по аналогии с рынком МСАЕ-систем, тоже могут быть разделены на два класса: “*mainstream*” (массовые) и “*specialized*” (специализированные). При этом к классу “*mainstream*” относились бы недорогие системы, ориентированные на использование инженерами-конструкторами, а к классу “*specialized*” – дорогостоящие инструменты,

предназначенные для сложного инженерного анализа и ориентированные на инженеров-аналитиков, специалистов в этой области.

Увы, отмечает *Cyon Research*, разделение рынка *MCAE*-систем на сегменты оказалось не столь простым... Выяснилось, что у заказчиков нет четкой приверженности к какому-либо одному классу *MCAE*-систем, поскольку компании, покупающие “*specialized*”-системы, приобретают также и “*mainstream*”-системы. К тому же, создается впечатление, что различия двух классов продуктов скорее проявляется в пользовательском интерфейсе, чем в функциональных возможностях: массовые системы позволяют решать столь же крупные задачи, что и специализированные.

По нашему мнению, последнее утверждение корректно только в том случае, когда для характеристики того, насколько крупной является задача, используется количественный критерий – число конечных элементов, уравнений или степеней свободы в расчетной модели.

На самом деле *MCAE*-системы различного уровня существуют, полагает *Cyon Research*, да и программные продукты, относящиеся к разным ценовым категориям, продаются по-разному. Однако и поставщикам, и заказчикам недостаточно одного только этих различий, чтобы ориентироваться на рынке. Какова же “естественная” классификация *MCAE*-продуктов? Что необходимо знать потенциальным пользователям, чтобы выбрать соответствующие их задачам системы? Что должны знать об этом рынке поставщики *MCAE*, чтобы заполучить больше заказчиков?

Цель исследования *Cyon Research* заключается в том, чтобы найти ответы на эти вопросы, сформулировать выводы и дать рекомендации для пользователей.

Сложность *MCAE*

Инженерный анализ механических систем, по мнению *Cyon Research*, является областью колоссальной сложности. Чтобы разработать математический аппарат для моделирования свойств и поведения физических объектов с приемлемой для использования точностью, понадобились столетия. Создание современных изделий – интегральных схем, самолетов, автомобилей, товаров массового спроса – продолжает ставить перед нами проблемы, которые заставляют искать новые методы описания.

Вот некоторые аспекты, которые специалисты *Cyon Research* считают необходимым учитывать при решении задач инженерного анализа:

- характер решаемой задачи;
- сущность вопросов, на которые необходимо получить ответ;
- степень неопределенности постановки задачи;
- требуемая точность;
- свойства материалов;
- чувствительность результатов к выбору расчетной сетки;
- геометрия исследуемого объекта;
- топология исследуемого объекта;
- связи и узлы;
- условия нагружения;

- взаимосвязь и взаимозависимость физических процессов;
- динамика и движение;
- баллистика и другие области физики.

MCAE-системы и соответствующие им сегменты рынка являются отражением уровня сложности исследуемых объектов.

Рынок *MCAE*-систем

По мнению *Cyon Research*, прибыль крупных и малых компаний увеличивается в зависимости от использования возможностей *MCAE*-систем в процессе проектирования. Эти инструменты позволяют отказаться от наиболее дорогостоящих и трудоемких этапов исследования, связанных с изготовлением опытных образцов (*physical prototyping*), и перейти к более оперативному, дешёвому, безопасному и надёжному способу проверки конструктивных решений с применением электронных/цифровых макетов (*electronic/digital prototyping*). Все компании, вне зависимости от их размера, получают громадную прибыль в результате сокращения сроков вывода на рынок более надёжных и эффективных изделий.

По оценкам *Cyon Research*, доход компаний-лидеров на рынке *MCAE*-систем в 2007 году составил примерно 1.3 млрд. долл., в том числе (в млн. долл.):

- ANSYS – 390;
- Dassault Systèmes – примерно 250 (от продажи пакетов COSMOS, ABAQUS и CATIA Analysis);
- MSC.Software – 247;
- Altair (частная компания) – 140;
- Siemens PLM Software – 120÷150;
- CD-adapco – примерно 60;
- Moldflow – примерно 58;
- LMS – 30 (учитывая только программное обеспечение для инженерного анализа и сопутствующие услуги – без доходов, связанных с тестированием и контролем изделий).

Кроме того, несколько сотен небольших компаний, таких как *Simmetrix* (информация получена *Cyon Research* в частной беседе), разрабатывают инструменты для инженерного анализа. Большая часть таких крошечных фирм (один-два сотрудника) предлагает узкоспециализированные *MCAE*-продукты. Общий годовой доход всех таких фирм *Cyon Research* оценивает в 700 млн. долл. Таким образом, общий объем рынка *MCAE*-систем составляет примерно 2 млрд. долл.

Подробное сравнение оценок объема рынка *MCAE*-систем, данных различными аналитическими и консалтинговыми компаниями, а также наши оценки доходов игроков этого рынка см. в выпусках *Observer* #5-7/2008.

Вследствие этого, по мнению *Cyon Research*, развитие рынка *MCAE*-систем подошло к той точке, когда сложившиеся ранее представления о его сегментации уже не описывают ситуацию достаточно хорошо. Соответственно, вендоры пересматривают свой взгляд на различные целевые сегменты рынка, модифицируют свои *MCAE*-продукты и разрабатывают новые.

Это мнение основывается на быстром росте (в процентном выражении) объема продаж таких массовых (*mainstream*) *MCAD*-систем, в комплектацию которых

входит и MCAE-инструментарий. Речь идет о пакетах *Solid Works 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 5% до более чем 20% (если считать по количеству проданных рабочих мест).

Динамика развития и изменение характера использования MCAE-систем затрудняют анализ рыночной ситуации. В процессе настоящего исследования *Cyon Research* были выявлены существенные различия в том, как видят рынок различные поставщики, консультанты и пользователи MCAE-систем.

Специалисты компании *Cyon Research* выработали свой подход к анализу рынка и надеются, что он будет полезен и облегчит понимание происходящих на рынке процессов. Предлагается разделить рынок на сегменты в зависимости от типа задач, стоящих перед заказчиками, а также моделируемых процессов.

На наш взгляд, системы моделирования процессов – как для исследования научных проблем, так и для инженерного анализа проектируемых систем – всегда создавались, так сказать, “от задачи”. Поэтому говорить о новизне подхода здесь вряд ли можно.

Ценность системы классификации неизбежно будет зависеть от глубины предлагаемого подхода – насколько выбранный авторами набор критериев опирается на фундаментальные характеристики MCAE-систем и насколько зависит от сиюминутных коммерческих целей.

Типы пользователей и заказчиков

По мнению компании *Cyon Research*, важной характеристикой рынка MCAE-систем, которая в процессе анализа сразу становится очевидной, является наличие двух групп пользователей:

1 Специалисты (эксперты) в сфере CAE

Специалисты – это инженеры, непосредственно специализирующиеся на расчетах и анализе. Постановка задачи, требующей анализа, исходит от инженеров-конструкторов и главного инженера проекта, а инженеры-аналитики, опираясь на свои знания и опыт, получают конкретный результат, добиваясь необходимой точности и достоверности. Как правило, каждый такой эксперт применяет широкий набор MCAE-инструментов, однако в совершенстве владеет лишь несколькими из них. Модели изделий он получает в виде данных из MCAD-системы, а затем выполняет необходимые операции для преобразования этих моделей к виду, пригодному для анализа. Кроме того, он может создавать свои собственные модели для более детального анализа. Результаты исследования заказчики получают в виде диаграмм, видео-роликов, таблиц и пр.

Нередко более трети своего рабочего времени эксперт в сфере CAE затрачивает на решение возникающих по ходу проектирования вопросов (“walk-up”), когда другой специалист ждет немедленного ответа. Эта работа не ограничивается каким-либо определенным классом задач и может охватывать широкий круг проблем.

2 Универсалы

Как правило, это инженеры-конструкторы, применяющие MCAE-инструменты в процессе

проектирования – в основном для проверки интуитивно возникающих предположений. С помощью моделирования процессов конструктор-универсал углубляет свое понимание существа проблемы, пытается определить дальнейшее направление проектирования, принять решение о продолжении или о приостановке работ по проекту, идентифицировать области, где в проектируемом изделии могут возникнуть проблемы. Обычно они пытаются достичь “озарения” – нащупывая и просчитывая варианты конструкции, выбирая, “пойдет/не пойдет” какое-то решение, или выявляя потенциальные проблемные области в конструкции изделия.

Более того, по мнению *Cyon Research*, из этого следует, что не только пользователи, но и организации, являющиеся заказчиками MCAE-систем, тоже подразделяются на две большие категории:

1 Организации, имеющие в штате сотрудников, специализирующихся на инженерном анализе

В эту группу входят крупные предприятия; организации, ориентированные на применение PLM-решений; большие группы разработчиков, взаимодействующие между собой в процессе проектирования; коллективы, которые имеют дело с задачами, для решения которых в дополнение к MCAE-пакету необходима разработка собственных программ; организации, которым требуется проверка проектируемого изделия в цифровой форме, в отличие от простого улучшения конструкции – речь идет, например, об экспресс-анализе и проверке альтернативных вариантов конструкции (*Rapid Analysis and Validation of Design Alternatives – RAVDA*). Определение термина и его толкование дано в 2005 году в работе “*An examination of UGS’ repeatable digital validation framework*” – см. <http://cyonresearch.com/whitepapers>). Пользуясь этим подходом, инженеры могут оперативно проводить рецензирование и оценку актуальной версии, предлагаемых альтернатив, а не статических “снимков” предшествующего состояния проекта.

2 Коллективы, в которых MCAE-инструменты используют конструкторы

Эта категория включает не только небольшие компании, но и конструкторские бюро крупных компаний, где проектировщики занимаются целым спектром задач, включая инженерный анализ и прочее. По словам CAE-поставщиков, с которыми беседовали представители *Cyon Research*, такие коллективы фокусируются скорее на выяснении тренда, то есть качественной оценки объекта, а не на достижении высокой точности расчетов. Им нужны хорошо интегрированные с MCAD-системами MCAE-продукты, для применения которых достаточно относительно невысокого уровня квалификации в области инженерного анализа и которые обеспечивают автоматическое построение расчетной сетки, простой пользовательский интерфейс, графическое представление результатов и помощь в их интерпретации.

С момента появления автоматизированного проектирования поставщики обещают MCAE-системы столь тесно интегрированные с CAD-системами, обеспечивающие автоматическое построение расчетной сетки и столь услужливые в оказании помощи конструктору для корректного описания граничных условий, что необходимость обращаться к CAE-специалистам должна

была заметно уменьшиться. Однако, несмотря на постоянное развитие этих программ в аспекте удобства пользования, переноса CAD-данных в CAE-среду, автоматического построения расчетной сетки и пр., добиться повсеместного применения MCAE-систем инженерами-конструкторами до сих пор не удается.

По мнению *Cyon Research*, такое положение дел необходимо менять. Доступность недорогих MCAE-инструментов, включенных в комплектацию массовых MCAD-систем, позволит изменить отношение инженеров-конструкторов, работающих с MCAD-системами этого класса, к использованию MCAE.

Что думает Autodesk

В докладе *Cyon Research* приводится мнение вице-президента компании Autodesk по CAD/CAE-продуктам для производства. **Andrew Anagnost** выделяет следующее:

“Многие ставят знак равенства между возможностью широкого доступа к инструментам симуляции и необходимостью упростить до абсурда (“*dumb down*”) функционал этих инструментов. Кроме того, некоторые до сих пор считают, что симуляция – не только сегодня, но и в будущем – это область деятельности высококвалифицированных инженеров-аналитиков. Такой образец мышления основывается на достаточно странном подходе к оценке перспектив, когда не учитываются продвинутость современных программных методов, а также вычислительная мощь, предоставляемая сейчас настольными компьютерами.

Реальность такова, что новые технологии солверов, современные методы проектирования ПО, интеллектуальные системы и “грубая” вычислительная мощь настольных компьютеров позволяют получать надежные результаты симуляции для широкого класса задач без необходимости настройки сложных моделей (*complex set up*) или применения специальных знаний. Этот факт может привести к революции в использовании симуляции в проектировании изделий. А наш долг как поставщиков программных средств – донести эту революцию до наших заказчиков”.

Здесь мы можем отметить отголосок распространенного заблуждения, что моделирование процессов сводится к некоторому набору сложных вычислительных операций, для выполнения которых до настоящего времени просто не хватало производительности персональных компьютеров. Однако самое сложное в этой сфере – это как раз то, что требует специальной подготовки и практически не формализуемо, как и озарение конструктора: это постановка задачи (то есть выбор главных и второстепенных параметров, характеризующих объект при построении его физической и математической модели), “настройка” модели на базе сравнения расчетных и экспериментальных результатов, а также интерпретация полученных результатов и оценка необходимости уточнения модели.

Когда эти этапы будут успешно пройдены (результатом чего станет описание определенного класса расчетных моделей с рекомендациями для инженеров-аналитиков), можно будет создавать и программные средства, позволяющие проводить многовариантные

расчеты в указанных разработчиком модели пределах изменения параметров, задающих область применимости модели.

Однако именно такой способ практического использования CAE-средств зачастую не позволяет исследовать принципиально новые изделия, рождающиеся на стыке различных научных и технологических областей в результате того самого конструкторского озарения.

Конечно, всё это не отменяет необходимости совершенствования CAE-систем с той целью, чтобы они были доступны широкому кругу инженеров. Однако для этих средств должна быть четко очерчена область применимости – с обеспечением четкой и ясной индикации ситуаций, когда конструктору/изобретателю необходимо обращаться к специалисту-аналитику для расширения палитры заложенных в программу расчетных моделей.

По мнению *Cyon Research*, одной из серьезных проблем, возникающих в случае применения CAE-средств инженерами-универсалами, является склонность последних рассматривать высокую точность результатов расчетов как гарантию их правильности. На самом же деле полученные результаты являются лишь отражением корректности предположений, сделанных в процессе инженерного анализа модели. Другими словами, существует опасность, что универсалы в итоге получат “точный ответ на некорректно поставленный вопрос”. Таким образом, с одной стороны, конструкторы, не имеющие достаточного опыта в сфере MCAE, теперь могут воспользоваться этими инструментами, что является следствием успехов в деле разработки нового программного обеспечения. С другой же стороны, в настоящее время можно (причем, проще, чем когда бы то ни было) получить не просто некорректные, а вводящие в заблуждение результаты. Более того, в дальнейшем эти результаты (имеющие “знак качества” – как прошедшие горнило MCAE-системы) будут использованы на следующих этапах проектирования и производства.

Cyon Research считает необходимым подчеркнуть, что возникновение подобных ситуаций не связано с изъянами MCAE-систем. Если пользователь некорректно ставит вопрос, то и получение корректного результата крайне проблематично. А разработчикам MCAE-систем, предназначенных для универсалов, нужно озаботиться проблемой “постановки корректных вопросов” в процессе исследования модели, а также не расставаться с надеждой, что в будущем они смогут предложить программы, способные помочь пользователю задать “правильные вопросы”.

Как бы то ни было, некоторые эксперты придерживаются мнения, что доступность простых в использовании MCAE-инструментов, побуждающих самостоятельно провести исследование проектируемого изделия, может привести к пагубным последствиям, если конструктор не обладает базовыми знаниями, необходимыми для анализа физических процессов. Другие же профессионалы в сфере анализа считают иначе: дав в руки конструкторам MCAE-инструменты и снабдив относительно несложными рекомендациями, позволяющими избежать катастрофических ошибок, можно добиться

существенного сокращения временных затрат в процессе разработки изделий.

Результаты исследования *Cyon Research* склонили специалистов компании к точке зрения второй группы экспертов: потенциально возможная прибыль огромна, а понимание возможных рисков – достаточно полное, чтобы избежать неблагоприятных последствий. Более того, руководство компаний должно создавать обстановку, способствующую постоянному обучению инженеров-конструкторов на их рабочем месте и общению с высококвалифицированными консультантами; также необходим и действенный контроль. Если такие условия будут созданы, а у поставщиков *MCAE*-систем появятся более надежные (*fail-safe* – застрахованные от ошибок) и простые в использовании продукты, то успешное применение современных интегрированных *MCAE*-инструментов может войти в повседневную практику инженеров-конструкторов.

Cyon Research напоминает, что несколько десятилетий назад *MCAE*-системами могли пользоваться только настоящие эксперты в соответствующей области, а сами *MCAE*-инструменты можно было легко дифференцировать по цене. Однако сегодня, по мнению аналитиков *Cyon Research*, наиболее существенные отличия между пакетами связаны с тем, на кого они ориентированы: на *специалистов* или на *универсалов*. Небольшие поставщики *MCAE*-систем должны либо создавать новаторские продукты, либо искать свою нишу – например, существует *CAE*-пакет, в котором методы вычислительной гидродинамики (*Computational Fluid Dynamics* – *CFD*) применяются для моделирования кровотока.

По мнению *Cyon Research*, специалисты и эксперты в большей степени акцентируют своё внимание на применяемых методах, чем собственно на выполнении инженерного анализа как такового. В этой связи *MCAE*-поставщикам необходимо ответить на вопрос, который является важным для их заказчиков: как *MCAE*-системы могут помочь в принятии своевременных проектных решений? *MCAE*-инструменты становятся столь же необходимыми, как и *MCAD*. Мощные возможности *MCAE*-систем говорят о том, что в ближайшем будущем их применение позволит добиться стратегического преимущества в конкурентной борьбе.

Фактически, считают аналитики *Cyon Research*, сегодня наблюдается раздвоение рынка *MCAE*-систем вследствие ориентации на две целевые группы:

- **специалисты в области анализа** всё больше и больше концентрируются на разработке методов и “шаблонов”, предназначенных для решения определенных классов задач, расширяя, таким образом, границы применения *CAE*-технологий;

- **универсалы** – проектировщики, которые работают с шаблонами, созданными экспертами, а также самостоятельно овладевают знаниями, необходимыми для использования *MCAE*-систем в процессе разработки изделий.

Наблюдение, на наш взгляд, верное, но зауживать круг задач квалифицированных специалистов всё же не стоит. На их плечах лежит и контроль над результатами моделирования – аналогично тому, как существует контроль над проектом. ☞

(Продолжение следует)

◆ Новости компании Autodesk ◆

Autodesk и “Базовый элемент” договорились о долгосрочном сотрудничестве

Компания *Autodesk* объявила о заключении долгосрочного соглашения, в рамках которого предприятия российского холдинга “Базовый элемент” (www.basel.ru) получают лицензионные версии программных продуктов *Autodesk*, техническую поддержку и обслуживание.

К настоящему моменту “Базовый элемент” закупил уже более 1100 лицензий ПО *Autodesk*, основная часть которых – отраслевые решения. С помощью сбалансированного набора решений *Autodesk* холдинг создает инновационные проекты в области строительства, машиностроения и проектирования инфраструктуры. Внедрение передовых технологий и переход на отраслевые решения *Autodesk* помогает предприятию идти в ногу со временем и успешно конкурировать на рынке.

“Базовый элемент” – крупная российская компания, которая работает в шести основных направлениях: энергетическом, ресурсном, машиностроительном, финансовом, строительном и авиационном. Холдинг владеет значительными долями в десятках компаний: “ОК РУСАЛ”, “Группа ГАЗ”, “Авиакор”, “Главстрой” и др. Для успешной работы холдингу важно постоянно поддерживать связь между своими предприятиями. Единая цифровая модель позволяет создать общую базу данных по всем проектам и

наладить эффективную коммуникацию внутри холдинга. Технология цифрового прототипа, в свою очередь, помогает экономить время и средства на всех этапах от проектирования до производства изделия.

“*Autodesk* позволяет создать единую среду для работы в строительстве, производстве и инфраструктуре”, – считает **Наталья Тамеева**, директор по работе с корпоративными заказчиками компании *Autodesk*. – “Новые отраслевые решения *Autodesk* сокращают время и затрачиваемые средства при реализации проекта, дают больше возможностей для инновационного подхода в решении основных производственных задач. Совместно с руководством холдинга “Базовый элемент” мы стараемся максимально быстро и легко внедрить сбалансированный набор решений *Autodesk*”.

“По договору о сотрудничестве мы закупили отраслевые решения *Autodesk* и обновили уже установленное ПО”, – сказал **Борис Сажин**, начальник управления ИТ компании “Базовый Элемент”. – “Сейчас идет установка новых программных продуктов и проводится обучение инженеров. Уже запланирован ряд проектов, реализация которых, как мы надеемся, будет проходить значительно быстрее и легче благодаря новым решениям *Autodesk*”. ☞

К вопросу о классификации МСАЕ-систем

Часть II

Сергей Павлов, к.ф.-м.н., Юрий Береза (Observer)

observer@cadcamcae.lv

Мы продолжаем 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.

Классификация МСАЕ-систем, исходя из характера решаемых задач

Одной из целей исследования компании *Cyon Research*, результаты которого изложены в данном документе, заключалась в том, чтобы выяснить, насколько классификация существующих МСАЕ-систем будет полезна для пользователей и поставщиков.

Аналитики *Cyon Research* обратили внимание на то, что инструменты для инженерного анализа могут быть разделены на группы в соответствии с возможностями применения этих инструментов для решения определенного типа задач. Такая классификация не является искусственной, а строится, исходя из характера решаемых задач, поэтому её назвали “естественной” (“*natural*”).

Итак, нам предлагается классификация МСАЕ-систем, в основе которой лежат следующие качественные и количественные характеристики задач:

- 1 Сложность задач – от простых (“*straightforward*”) к трудным (*difficult*) и особо, или даже ужасно сложным (“*hairy*” в переводе с английского означает жуткий; трудный; такой, что волосы дыбом встают);
- 2 Масштаб задачи (количественная характеристика);
- 3 Возможность автоматизировать процесс решения с помощью шаблонов (*automatable problems*).

Далее *Cyon Research* излагает своё видение проблемы по каждому из этих пунктов.

1 Сложность задач

Сущность вопроса, на который необходимо получить ответ в процессе исследования, определяет постановку задачи (*problem set*) или набора взаимосвязанных задач. В зависимости от поставленного вопроса (или вопросов), для решения задачи будет выбрана та или иная стратегия и использованы соответствующие солверы (решатели). Поставленный вопрос может ранжироваться от простого до “ужасно сложного”; критическим фактором здесь является быстрота уяснения сути дела.

Постановка задачи, относящейся в спектре сложности к категории “простых” (“*straightforward*”),

включает исследование какого-либо одного физического поля. Такие задачи решаются независимо друг от друга. Зачастую это делается конструкторами в процессе проектирования изделия. Если необходимо изучение нескольких физических полей, то оно ведется последовательно (то есть в раздельной постановке. – *Прим. авт.*), а не одновременно (когда в постановке сразу учитывается взаимодействие и взаимозависимость полей. – *Прим. авт.*). К этому краю спектра относится инженерный анализ, осуществляемый конструктором-универсалом в процессе проектирования с применением шаблона для решения определенного класса задач (*analysis template*), разработанного специалистом в области анализа (о делении пользователей на специалистов и универсалов см. раздел “Типы пользователей и заказчиков” в первой части статьи, *Observer #1/2009*. – *Прим. авт.*).

На другой конец спектра сложности аналитики *Cyon Research* помещают “ужасно сложные” (“*hairy*”) задачи, к которым можно отнести:

- *transient* – нестационарные (подразумевающие исследование переходного, неустановившегося процесса или режима. – *Прим. авт.*);
- *dynamic* – динамические (исследование движения под действием приложенных сил. – *Прим. авт.*);
- *multiphysics* – мультифизические или междисциплинарные (изучение взаимодействия и взаимозависимости нескольких физических полей. – *Прим. авт.*);
- *nonlinear* – нелинейные (причем нелинейность может иметь место как в уравнениях и граничных условиях, так и в соотношениях, описывающих свойства применяемых материалов. – *Прим. авт.*);
- высокочувствительные к свойствам расчетной сетки – например, к параметрам, определяющим плотность её построения;
- другие (см. раздел “Сложность МСАЕ” в первой части статьи. – *Прим. авт.*).

Другим аспектом сложности, по мнению *Cyon Research*, является относительный масштаб предмета исследования – от отдельного компонента до узла и системы в целом. Категория “ужасно сложных” задач подразумевает полное моделирование системы. Примером может служить симуляция процесса движения транспортного средства для изучения его с точки зрения комфорта.

✓ Характеристика типичных простых задач и соответствующих МСАЕ-систем

Задачи формулируются для получения базового набора данных с несложной структурой (*simple data*), предназначенных для быстрой интерпретации

информации и оперативной проверки принятых допущений, или для оценки возможных направлений проектирования. Задачи решаются индивидуально, причем, зачастую – конструкторами в процессе проектирования. Решение всегда ведется последовательно (в отличие от параллельного решения нескольких простых задач, в результате чего может образоваться сложная или даже “ужасно сложная” задача. – *Прим. авт.*). Инженерный анализ производится с использованием шаблонов, разработанных специалистами в области CAE.

Ключевые особенности: здесь важна “двухнаправленная” (“*round-trip*”) интеграция MCAE- и MCAD-систем.

Примеры MCAE-систем, пригодных для решения задач такого типа: *SolidWorks Office Premium*, *Inventor Professional*, *ALGOR* (отметим, что система *ALGOR* в конце 2008 года была приобретена компанией *Autodesk* для последующей интеграции с *Inventor*, хотя она будет доступна и как отдельный CAE-продукт. – *Прим. авт.*);

Преимущества: несложная процедура подготовки задачи к решению (*set-up of problem*), удобный пользовательский интерфейс, быстрая реакция системы;

Ограничения: размер и уровень сложности решаемой задачи; ограниченные возможности обработки входных данных со сложной структурой (*complex input*).

На наш взгляд, здесь уместно вспомнить и другие специально “заточенные” для решения простых задач инструменты, которые есть в арсенале лидеров CAE-рынка. Так, у компании *ANSYS* имеются, к примеру, такие пакеты, как *DesignSpace* и *FloWizard*, а у *MSC.Software* – новый продукт *MSC.SimOffice*, разработанный для среды *Windows Vista*.

✓ Типичные “ужасно сложные” задачи

Прогнозирование влияния на поведение протектора резиновых шин дорожных условий, условий нагружения, состава резины, температуры. Изучение колебаний кузова в продольной вертикальной плоскости. Изучение шума, вибраций и плавности движения автомобиля (*Noise, Vibration, Harshness – NVH*), силы сцепления шины с дорогой и износа шин.

Ключевые особенности: требуются CAE-системы с развитыми возможностями, позволяющие одновременно учитывать нелинейные свойства материалов и проводить расчеты гидродинамических и тепловых процессов, динамического поведения конструкции и др.

Примеры CAE-систем, пригодных для решения задач такого типа: *ANSYS CFX*, *Abaqus (Dassault Systèmes)*, *NX CAE (Siemens PLM Software)*.

Преимущества: применение CAE-систем позволяет, к примеру, сократить использование дорогого лабораторного оборудования для проведения испытания шин, а также уменьшить объем дорожных испытаний.

Ограничения: размер и уровень сложности решаемой задачи. Возможность применить многодисциплинарный подход, позволяющий проводить сложные расчеты нескольких физических полей одновременно (*multiphysics effects*). Однако требуется привлечение квалифицированных специалистов в области инженерного анализа.

Здесь следует отметить, что упомянутая в документе *Cyon Research* группа продуктов *Abaqus* включает также *Abaqus Multiphysics* и распространяется теперь под брендом *SIMULIA (Dassault Systèmes)*. Что касается аббревиатуры *NX CAE*, то она не является названием какого-либо конкретного продукта. Пожалуй, так можно обозначить весь спектр CAE-решений, доступных в пакете *NX 6* от *Siemens PLM Software*; наиболее узнаваемые бренды – *NX Nastran* и *Femap*.

Поскольку в рассматриваемом документе основной акцент делается на задачах и MCAE-системах, доступных инженерам-универсалам, то, вероятно, стоит обратить внимание и на другие предложения, в том числе и от лидеров рынка, специализирующихся на разработке MCAE-систем. Отметим, например, *ANSYS Multiphysics*, включая и *MD Nastran*, от *MSC.Software*. В контексте предлагаемого в документе описания типичной “ужасно сложной” задачи нельзя не упомянуть систему *LS-DYNA* от *Livermore Software Technology Corporation*.

В отношении приводимых здесь и далее ограничений возникает ощущение, что составители документа смотрят на проблему “что именно является ограничением” несколько однобоко – с позиции конструктора-универсала или поставщика MCAE-систем для простых задач. На наш взгляд, достаточность функционала системы и квалификации инженеров-аналитиков логично было бы рассматривать как необходимое условие. Если задача решается с помощью *Abaqus* и не решается с помощью *Inventor Professional*, то здесь нет поля для обсуждения о наличии/отсутствии ограничений, а есть проблема выбора инструмента, адекватного задаче. Если же задача “по зубам” простому инструменту, то никто и не станет “палить по воробьям из пушки”.

2 Масштаб задачи

Аналитики *Cyon Research* к классу крупных (*big*) относят задачи инженерного анализа очень больших расчетных моделей с огромным количеством (более 10^8) степеней свободы (*Degrees Of Freedom – DOF*).

Типичные задачи: анализ флаттера крыла самолета, изучение на мелкой расчетной сетке ударного воздействия на сотовый телефон.

Ключевые особенности: для решения задач необходимо построение подробной расчетной сетки (*fine-scale resolution*). MCAE-системы должны поддерживать обработку моделей с большим

числом компонентов (конструктивных элементов).

Примеры MCAE-систем: *Abaqus* (*Dassault Systèmes*), *Fluent* (*ANSYS*), *NX CAE* (*Siemens PLM Software*).

Преимущества: обеспечивается решение задач с миллионами уравнений, ячеек или степеней свободы.

Ограничения: такие MCAE-системы могут использоваться только CAE-специалистами, обладающими знаниями в определенной предметной области (*specific domain knowledge*).

Комментарии к приведенным примерам MCAE-систем можно дать такие же, как и в предыдущем случае для типичных “ужасно сложных” задач.

Отметим, что масштаб задачи можно характеризовать не только числом степеней свободы, но и, например, количеством уравнений в FEA-анализе или ячеек в CFD-анализе. Четкая количественная дефиниция данного критерия, введенная *Cyon Research*, внушает уважение, однако её появление, к сожалению, никак не объяснено. Возможно, здесь существует корреляция с рекордными достижениями в сфере CAE. Так, для CFD-задач рекорд составил 10^9 ячеек (с использованием пакета *ANSYS*, ноябрь 2008 года), для FEA-задач – 5×10^8 уравнений (*NX Nastran* от *Siemens PLM Software*, декабрь 2008 года). Предыдущий рекорд для FEA-задач – 2×10^8 уравнений также принадлежал *Siemens PLM Software* и был установлен в феврале 2006 года. Получается, что, с точки зрения *Cyon Research*, все крупные задачи – рекордные...

Не стоит также забывать, что достижение рекордных показателей в бенчмаркинге – это еще и демонстрация масштабируемости MCAE-системы. Очевидно, что рекордные задачи подъемны только на суперкомпьютерах, где существенным требованием является распараллеливание расчетных алгоритмов. (В скобках заметим, что рекорд *Siemens PLM Software* потребовал почти 18 часов, а *ANSYS* – порядка 170 часов машинного времени суперкомпьютеров. Более подробно об этом см. материал в этом же номере.) Для пакетов, продемонстрировавших рекордные показатели, проблема распараллеливания успешно решена. Таким образом, их разработчики уже сейчас готовы к появлению на рабочем месте инженера-аналитика современного вычислительного средства – персонального суперкомпьютера.

Что касается аналитической части пакетов *Inventor Simulation Suite* и *COSMOSWorks* класса *mid-range*, то они ориентированы на обычные рабочие станции. Поддерживается работа под управлением 64-битных версий *Windows* и, в лучшем случае, использование многопоточных процессоров; информации о версиях пакетов с распараллеливанием расчетных алгоритмов нам на сайте вендоров найти не удалось.

Таким образом, мы можем несколько огорчить аналитиков *Cyon Research* – гораздо ближе к формирующемуся направлению, связанному с применением MCAE-систем на персональных суперкомпьютерах инженерами-аналитиками (а именно это, по всей видимости, вскоре и можно будет характеризовать столь притягательным для *Cyon Research* понятием *мейнстрим*), находятся компании *ANSYS*, *Siemens PLM Software* и *Dassault Systèmes*. Кстати говоря, последняя, совместно с *Microsoft*, недавно протестировала пакет *Abaqus* под управлением *Windows HPC Server 2008*.

В отношении же квалификации специалистов, решающих особо сложные и крупные задачи, радикальные отличия, на наш взгляд, обнаружить трудно. Впрочем, с точки зрения *Cyon Research*, важно лишь то, что эти задачи не под силу инженеру-конструктору (универсалу).

3 Автоматизируемые задачи

По мнению *Cyon Research*, для решения задач этого класса требуется инженерный анализ различных видов, неоднократное использование солверов и автоматическая передача данных из одной программы в другую. Зачастую решение подобных задач сопровождается созданием *шаблонов* (*templates*), фиксирующих подробности процесса инженерного анализа. Это обеспечивает надежность при многократном проведении инженерного анализа пользователями-универсалами и позволяет постоянно получать достоверные результаты.

MCAE-системы, разработанные для решения простых, крупных и сложных задач, могут также предлагать и возможности по автоматизации этого процесса. Далее в качестве примера описываются требования к системе для решения крупных задач, которая обладает платформой для организации воспроизводимого взаимодействия между прикладными программами (*repeatable framework*) и может быть “заточена” под потребности автомобильной промышленности.

Типичная задача: итеративный анализ какого-то подузла в контексте всей сборки с ведением множества параллельных расчетов и обновлений в режиме реального времени – например, системы впрыскивания топлива новой модели автомобиля. При этом создаются шаблоны – стандартные аналитические модели для последующего применения пользователями-универсалами.

Ключевые особенности MCAE-систем: должны иметься в наличии инструменты для создания шаблонов, используемых в дальнейшем пользователями-универсалами; инструменты для разработки процессов, обеспечивающих многократное, достоверное воспроизведение инженерного анализа (*repeatable validation*); инструменты для создания геометрически независимых абстрактных (то есть не связанных с конкретной конструкцией) моделей для анализа; инструменты для управления геометрией модели на основе результатов анализа.

Примеры MCAE-систем: *RDV (Repeatable Digital Validation)* от *Siemens PLM Software*, *MSC.SimEnterprise*, *SIMULIA SLM (Simulation Lifecycle Management)*, *Altair PBS (Portable Batch System)*, *MSC.SimManager*. (К этому списку, вероятно, следует добавить и систему *ANSYS Engineering Knowledge Management*. – *Прим. авт.*)

Преимущества: достигается существенная экономия времени за счет отсутствия необходимости повторной подготовки похожих задач и за счет параллельного запуска солверов; имеется возможность отвечать на запросы в режиме “почти реального времени” (*near-real-time*); можно просчитывать конструкцию многократно.

Ограничения: требуется привлечение значительных ресурсов и обучение персонала. Кроме того, необходим опыт в определенной предметной области (*specific domain expertise*).

На наш взгляд, если буквально отталкиваться от перевода слова *automatable*, то речь здесь должна идти скорее о поддающихся автоматизации задачах. Однако, судя по приведенной выше характеристике, в *Cyon Research* его применяют в другом смысле – задачи, требующие автоматизации.

Комментарий к перечисленным ограничениям можно дать такой же, как и в предыдущем случае для типичных “ужасно сложных” задач.

Какие вопросы ставит заказчик – пример с сотовым телефоном

Важным аспектом в понимании предлагаемого *Cyon Research* подхода к классификации MCAE-систем является то, что **почти любую задачу можно позиционировать в каждом из сегментов**. Другими словами, по мнению *Cyon Research*, существенным является не то, *какую* задачу решает заказчик, а *как* он подходит к решению задачи. Именно это определяет выбор необходимого ему инструмента.

В качестве иллюстрации упомянутого аспекта *Cyon Research* рассматривает разные подходы к анализу такого устройства, как сотовый телефон.

Если встать на позицию “простых” задач, то модель корпуса телефона может существенно упроститься путем исчезновения отверстий для кнопок клавиатуры. Такое упрощение позволяет поставить вопрос: “Если кто-либо наступит на телефон, то приведет ли деформация корпуса к повреждению находящейся внутри печатной платы?”

Можно задать вопрос потруднее: “Если снять крышку, не отломится ли выступ защелки?”

Трудным мог бы быть такой вопрос: “Что будет, если телефон уронить?” Это включает также и вопрос типа: “Прервется ли при этом соединение, если шел разговор?” Здесь уже необходимо провести взаимосвязанный анализ механической характеристики телефона и работоспособности его электронной начинки.

Если говорить о “крупных” задачах применительно к чему-то столь небольшому по размерам, как сотовый телефон, то тут уж потребуются полная детализация без всяких искажений. Сеточная модель (*mesh model*) должна отобразить все отверстия, фаски и другие особенности геометрии, причем сама сетка должна быть очень мелкойчистой. Затем можно задаться вопросом: “Если уронить телефон каким-то определенным образом, то повредится ли корпус?”

В контексте задач, относящихся к классу автоматизируемых, вопрос может ставиться так: “Если ронять телефон, то сломается ли он?” В этом случае потребуется много раз просчитать одну и ту же модель. При этом каждый раз необходимо вносить небольшие изменения в исходные условия: высота, с которой падает телефон; тип поверхности, на которую он приземляется; какая часть корпуса соприкасается с поверхностью при падении; имеется ли вращение в процессе падения; и пр.

Легко увидеть, отмечает *Cyon Research*, что при такой классификации между отдельными областями спектра нет четких границ. Скорее можно сказать, что спектр задач простирается от простых до ужасно сложных. Каждая задача, кроме того, может быть крупной или автоматизируемой. Если отранжировать задачи по сложности, – от простых к трудным и ужасно сложным – то большая часть потраченных на рынке долларов приходится на среднюю часть спектра.

Таким образом, констатирует документ *Cyon Research*, **в исследуемой области четкого разделения сегментов нет**. Отсутствуют классы MCAE-систем, в которых “множества” выполняемых функций “не перекрываются”, поскольку многие MCAE-продукты предназначены для решения проблем более чем одного класса. Однако при создании каждого продукта акцент был в большей степени сделан на решение задач какого-то одного класса. Это может быть артефактом случайного стечения обстоятельств в процессе развития рынка, или же отражать технический замысел.

Здесь без комментария обойтись нельзя, так как, прочитав и попытавшись осмыслить сказанное выше, соавторы испытали некоторого рода когнитивный диссонанс. Честно говоря, нам не очень понятно, какое отношение имеет к проблеме классификации систем то, “*как* заказчик подходит к решению задачи”. Заказчик может и вовсе не понимать, что такое CAE, и не использовать эти системы, однако вряд ли их классификация из-за этого изменится. Из позиции же *Cyon Research* следует, что при построении классификации можно отталкиваться не от более или менее объективно существующих характеристик CAE-систем, а от того, как видит проблему пользователь.

На наш взгляд, те формулировки вопросов в аспекте инженерного анализа, которые интересуют пользователя при разработке изделия (в том числе, описанные в примере с мобильным

телефоном), могут облегчить ему понимание возможностей конкретного CAE-продукта в процессе его выбора (к примеру, если поставщик четко распишет это в рекламных материалах), но вряд ли они могут служить основой серьезной классификации систем.

В целом же, если опираться не на подход пользователя, который зачастую относится к MCAE-системе, как к “черному ящику”, а на типы задач, то следует отдавать себе отчет, что при “позиционировании в другом сегменте” задача не остается той же самой – она тоже меняется (конечно, если её не формулировать предельно абстрактно – типа “изучение модели корпуса с целью его улучшения”).

Если же всё-таки попытаться оттолкнуться от пожеланий заказчика, то в первую очередь нужно разобраться, к какому классу относится его задача, насколько она сложна и разрешима. Ведь для любой задачи, как известно, можно создать модель любой сложности. При этом всегда возникает вопрос, насколько адекватно эта простая (или сложная) модель описывает объект, и в каких именно случаях её можно использовать. Построить простую и эффективную модель для многовариантных инженерных расчетов – большое искусство и крайне трудоемкая задача, требующая объемных предварительных расчетов для моделей разной степени сложности.

Конечно, выбор инструмента определяется задачей, но не любую задачу можно эффективно решить с помощью любого инструмента и на любом компьютере.

Другие трудности

Препроцессоры, постпроцессоры и солверы

Как справедливо отмечает *Cyon Research*, типичный процесс инженерного анализа включает следующие этапы:

- *pre-processing* – препроцессирование, или предварительная подготовка модели, созданной в той или иной MCAD-системе;
- *analysis* – собственно инженерный анализ модели с помощью солвера (решателя);
- *post-processing* – постпроцессирование, или завершающая обработка, обеспечивающая представление результатов расчетов в желаемом формате.

Некоторые CAE-продукты имеют собственные пре- и постпроцессоры. Существуют и программные продукты общего характера, представляющие собой разработанные для определенного класса задач пре- и постпроцессоры, которые обеспечивают взаимодействие с различными солверами.

Далее в документе *Cyon Research* разъясняется, для чего нужны все эти программные продукты.

Чтобы решить задачу, её необходимо представить в формате, который может быть использован в программе-солвере. Для этой цели и служат программы-препроцессоры. Они позволяют вводить данные в различных форматах, задавать нагрузки

(*loads*) и связи (*connections*); затем эти данные представляются в формате, понятном для того или иного солвера. Некоторые препроцессоры тесно интегрированы с CAD-системами и импортируют CAD-модели непосредственно оттуда. При работе с другими пользователю приходится воссоздавать геометрию модели “с нуля” средствами самого препроцессора. Кроме того, препроцессоры предоставляют возможность задавать на модели условия нагружения и стыковки.

Солверы (решатели) – это программы, которые ведут расчеты на основе математических методов, разработанных для решения соответствующего класса задач. Например, в солвере *NASTRAN*, созданном в процессе выполнения проекта *NASA*, применяется метод конечных элементов (*Finite-Element Method – FEM*), что позволяет осуществить конечно-элементный анализ (*Finite-Element Analysis – FEA*); на входе солвера – модель и условия нагружения, а на выходе – представленные в числовой форме распределения напряжений, деформаций и другие величины, характеризующие напряженно-деформированное состояние модели.

Данные с выхода солвера вводятся в постпроцессор, где результаты расчетов представляются в наглядной форме в различных вариантах.

Графические возможности пре- и постпроцессоров делают доступной для неспециалистов работу со сложным программным обеспечением для инженерного анализа – таково заключение сотрудников *Cyon Research*, завершая этот, надо полагать, справочный, раздел.

Управление симуляцией изделий

Не осталась забытой в документе *Cyon Research* и необходимость организовать при работе с MCAE-системой хранение и управление данными (*data*), результатами (*result*), методами (*method*) и процессами (*process*). Для этой цели созданы системы управления симуляцией изделия (*Product Simulation Management – PSM*).

Используются также и другие похожие термины:

- компания *Dassault Systèmes* говорит об управлении жизненным циклом симуляции (*Simulation Lifecycle Management – SLM*);
- компания *Siemens PLM Software* предпочитает управление процессами симуляции (*Simulation Process Management – SPM*);
- компания *MSC.Software* называет это управлением симуляцией на уровне предприятия (*Enterprise Simulation Management – ESM*).

Упоминание этой проблематики в документе *Cyon Research* вполне уместно. Здесь можно добавить, что компания *ANSYS* тоже внесла свой вклад в запутывание терминологии – в их варианте это называется управлением инженерными знаниями (*Engineering Knowledge Management – EKM*). Но, как мы уже отмечали в первой части статьи, нам представляется, что более точно суть дела отражает термин

управление данными и процессами симуляции (*Simulation and Process Data Management – SPDM*), который фактически обобщает всё перечисленное выше.

Как отмечает *Cyon Research*, зачастую процессы анализа и бывают несогласованными, в результате чего получается большой объем не связанных друг с другом данных симуляции (очевидно, речь идет о множестве различных моделей или вариантов одной модели. – Прим. авт.). Назначением *PSM*-систем является управление данными симуляции и анализа – входными, промежуточными и выходными. Иногда подобные системы объединяют различные системы инженерного анализа от разных поставщиков. В частности, сложной задачей может оказаться сопоставление данных физических экспериментов с данными инженерного анализа и симуляции. Подобный процесс сопоставления поддерживается *PSM*-системой.

В качестве примера в документе *Cyon Research* рассматривается компания, в которой решаются задачи, относящиеся к классу “автоматизируемых”, – наподобие описанной выше для сотового телефона. В результате такого исследования может образоваться большой объем данных. Легко предположить, что возможна разработка нескольких вариантов конструкции, каждый из которых нуждается в своей серии расчетов. Кроме того, компания может выпускать несколько моделей телефонов, каждая из которых потребует похожей серии расчетов – к примеру, чтобы убедиться в прочности изделия до запуска его в производство. Без *PSM*-системы работа с таким массивом данных окажется, в лучшем случае, сложной. Если же объединить возможности *PSM*-системы и инструментов создания “шаблона для расчета прочности” (см. описание задач, относящихся к классу “автоматизируемых”), то проведение таких серийных расчетов может стать довольно простым делом.

Далее *Cyon Research* дает **общие характеристики *PSM*-систем**.

Типичная область применения: управление данными *MCAE*-системы, а также процессами симуляции.

Ключевые особенности: предлагаются инструменты для управления данными симуляции, ограничениями (*constraint*), условиями нагружения, результатами анализа и связанными с симуляцией процессами.

Примеры *PSM*-систем: *SimManager* компании *MSC.Software*, *Teamcenter [Analysis]* компании *Siemens PLM Software*, *ANSYS Workbench* и *SIMULIA SLM* от *Dassault Systèmes*.

Преимущества *PSM*-систем: связанные с применением *MCAE*-систем и симуляцией данные являются объемными, а процессы – сложными. *PSM*-системы облегчают управление данными и автоматизацию этих процессов, что позволяет экономить время, а также расширяет возможности повторного использования данных (и проведения повторного инженерного анализа в соответствии с

зафиксированными в системе описаниями процессов. – Прим. авт.).


Ограничения: для поддержки и обеспечения эффективного функционирования *PSM*-системы необходимы дополнительные расходы.

Развитие рынка *MCAE*-систем, возвращаются к упомянутому в первой части статьи тезису аналитики *Cyon Research*, достигло некой поворотной точки, когда сегмент рынка *MCAE*-систем для пользователей-универсалов будет расти быстрее сегмента для пользователей-специалистов. В то же время, пользователи-специалисты будут стимулировать поставщиков к разработке таких средств для сложного инженерного анализа, для которых будет характерна большая степень автоматизации и более развитые возможности повторного использования (зафиксированных в системе процессов симуляции и данных. – Прим. авт.), чем это возможно на настоящий момент. Появление таких инструментов будет стимулировать более широкое их использование специалистами. Поэтому *Cyon Research* прогнозирует значительный рост данного сегмента рынка – однако, не такой быстрый, как в сегменте для универсалов.

В отношении приведенных примеров *PSM*-систем нам представляется нужным уточнить, что продукт с названием *Teamcenter [Analysis]* в линейке *Siemens PLM Software* отсутствует. В этой сфере компания предлагает специальную среду для *Digital Lifecycle Simulation* на базе *Teamcenter for Simulation*.

У компании *ANSYS*, помимо платформы *ANSYS Workbench*, которая в перспективе способна объединить всю линейку её программных продуктов в единую расчетную среду, имеется и специальный продукт для управления данными и процессами симуляции – *ANSYS EKM*.

Далее документ *Cyon Research* напоминает нам про еще один “ломтик рыночного пирога” (в первой части статьи на рис. 1 он не показан) ПО для инженерного анализа, который частично перекрывается с сегментом *MCAE*, – это **системы для интеграции процессов и оптимизации проектирования** (*Process Integration and Design Optimization – PIDO*). Сегмент “интеграции процессов” включает в себя программные средства фиксации и автоматизации процессов с помощью графических символов. Подобные системы облегчают объединение используемых отдельно друг от друга инструментов в единый процесс. Таким образом, всё, что касается создания изделия, – от спецификаций до производства и последующей поставки – оказывается тесно связанным друг с другом так, что все аспекты вносимых изменений отражаются на всех других. Термин “оптимизация проектирования” относится ко всему расширяющемуся спектру инструментов для решения подобных задач.

Понятие *PIDO*, известное ранее только в аэрокосмической и автомобильной промышленности, постепенно проникает и в другие отрасли. 

(Продолжение следует)

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 многодисциплинарного (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 электромеханических 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

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

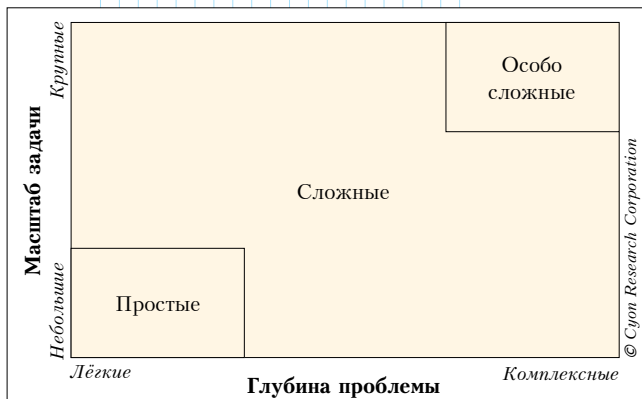


Рис. 2. Классификация задач по сложности

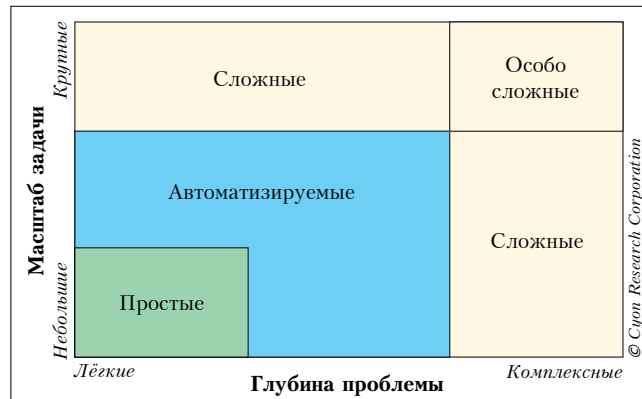


Рис. 3. Область автоматизируемых задач

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, имеет 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**”.

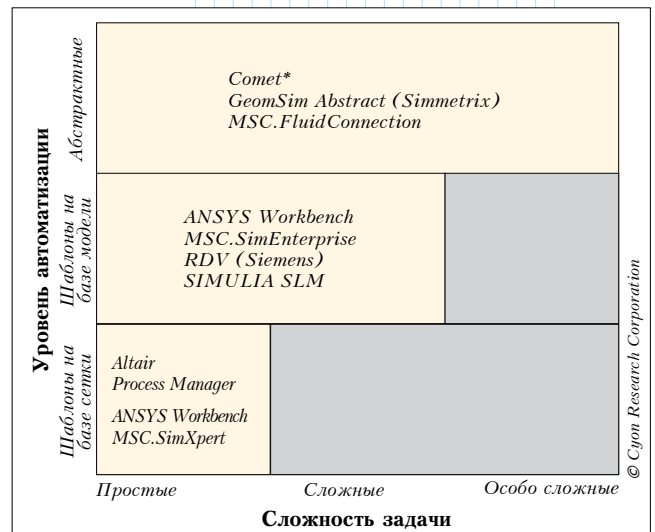


Рис. 4. Степень автоматизации

* 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		

© Cyon Research Corporation

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”.

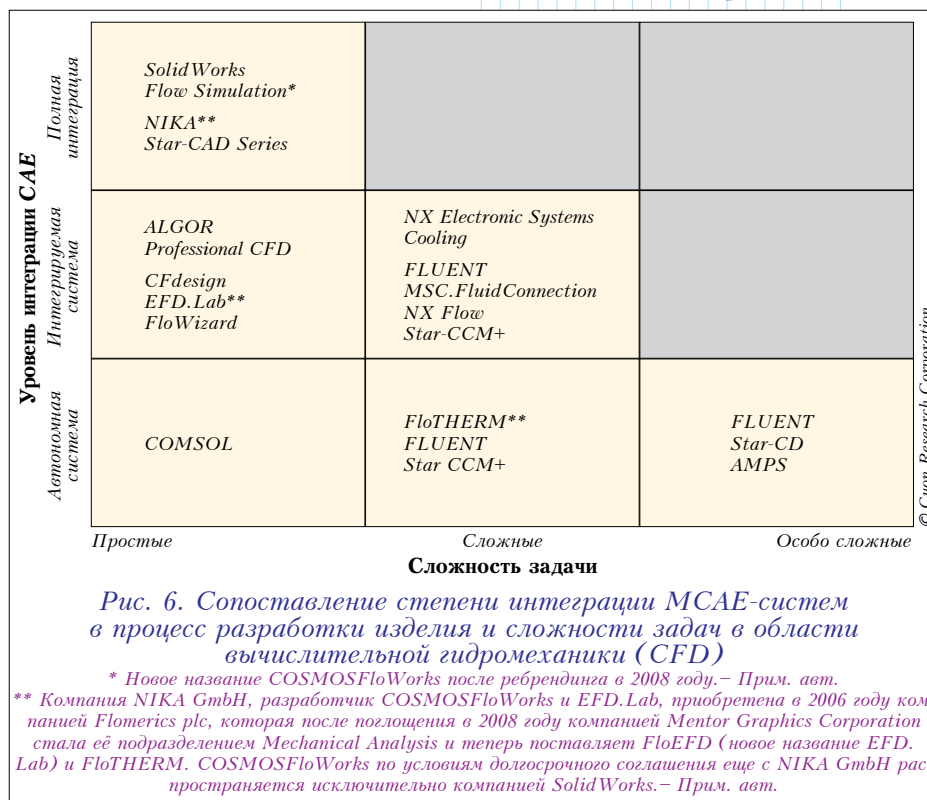
Jason Faircloth из американской компании *Marin Bikes* (www.marinbikes.com), производящей велосипеды: “Я являюсь менеджером и разработчиком изделий; мы – небольшая компания. До того, как мы получили [*MCAD*-систему класса мейнстрим в комплекте с *MCAE*-пакетом], на вывод нового изделия на рынок у меня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



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 и 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