

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 “двунаправленная” (“*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 (multidiscipline)* решений, 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)