

Создание возможностей для компьютерного моделирования физических процессов и инженерного анализа

Часть II

(Окончание. Начало в #1/2010)

Bruce Jenkins

©2009 Ora Research LLC



Bruce Jenkins – учредитель и ведущий специалист американской аналитической компании Ora Research LLC (www.oraresearch.com). В исследованиях, которые легли в основу данной публикации, принимала участие еще одна компания того же профиля – Spar Point Research LLC (www.sparllc.com), где г-н Jenkins является соучредителем. Частично эта работа финансировалась компанией Siemens PLM Software. Материал публикуется с любезного разрешения автора.

5 Открытость для интеграции

✓ Востребованность в практической деятельности

Объединение программных инструментов для инженерного анализа, а также [возможностей инструментов] от разных вендоров, является ключевым фактором для многих ведущих производителей, которые работают с поставщиками из различных отраслей (*cross-industry*). Крупным OEM-производителям требуется множество различных средств компьютерного моделирования физических процессов и инженерного анализа (*digital Simulation and Analysis – S&A*): автопроизводителям – несколько десятков, а ведущим аэрокосмическим компаниям – сотни. Ключевым фактором, определяющим эффективность рабочего процесса, является качество трансляции данных при обмене между программными средствами, обеспечиваемое тем набором инструментов, который применяется для S&A. Один из производителей самолетных двигателей в разговоре с нами так сформулировал то, что им так необходимо (но далеко не всегда доступно): возможность “объединить инструменты в каждой фазе [разработки изделия]”.

Аналогично обстоят дела и в автомобильной промышленности. По словам ведущего американского автопроизводителя, “то, насколько хорошо CAE-инструменты могут быть интегрированы друг с другом и с CAD-системами”, является важным фактором при оценке решений для S&A. Действительно, даже если разработчики CAD- и CAE-систем “объединили” свои инструменты друг с другом, “могут возникнуть проблемы в преобразовании CAD-геометрии в сетку для CAE, а затем при передаче результатов анализа обратно в CAD-модель”, – сказал нам представитель этой компании. – “Связка CAD-CAE требует больших затрат ручного труда при построении сетки”.

Аналогично думают и другие. “Мы всегда нуждаемся в более развитых инструментах [S&A]

которые могут быстрее и лучше работать вместе. То, что я делаю – обеспечиваю совместную работу инструментов на системном уровне, чтобы они использовались в цикле [создания изделия] более быстро и правильно, чтобы высокая достоверность передачи информации (*fidelity*) поддерживалась на всём протяжении цикла проектирования – от его начала до завершающего этапа”, – отметил корпоративный специалист по методике “Six Sigma”, работающий в компании аэрокосмического профиля. (Методика “Шесть сигма”, разработанная компанией Motorola, представляющая собой стратегию управления деятельностью предприятия, нашла широкое применение во многих отраслях промышленности. – Прим. ред.)

Требования заключаются не в том, чтобы замкнуться внутри закрытого набора решений. Напротив, следует внедрять открытые S&A-решения, которые могут быть, при необходимости, объединены с другими коммерческими солверами, с собственными программными разработками, а также с сопутствующими приложениями для [автоматизации] проектирования и производства. Выгода от этого очевидна – лучшая интеграция инструментов позволит более точно и эффективно построить бизнес-процессы и потоки данных, а большая свобода в выборе инструментов позволит компаниям лучше управлять затратами [на разработку] технологий, а также расходами на обучение и обслуживание.

Представители других компаний аэрокосмической и оборонной промышленности придерживаются того же мнения. “[Если смотреть с позиции проектирования] для “Шести сигма” (*Design for Six Sigma – DFSS*), то в отрасли и в нашей компании делается немало для моделирования рабочих характеристик изделий (*performance*), моделирования затрат, моделирования возможных дефектов и других вещей – но интегрированы ли все эти [инструменты], чтобы их можно было попеременно использовать в этом пространстве?” – сказал один из них.

✓ Возможности функционала

Многие производители, у которых были взяты интервью, считают, что ответ заключается в поиске такого поставщика решений, который помог бы увеличить степень проникновения (*permeability*) в новые технологии – причем так, чтобы это не потребовало запредельных объемов новых инвестиций в интеграцию, поддержку софта и [обучение] персонала.

“Если вы станете подбирать инструменты для решения частных задач, то будете вынуждены менять их каждые несколько лет”, – говорит один из производителей транспортного оборудования (*off-way equipment*). – “Вы не захотите так поступать, поскольку это слишком затратный путь. Ваши модели больше не будут пригодными [после смены софта]. Вам необходимо выбрать перспективного партнера и работать с ним в тесном контакте. Вы заработаете много денег с помощью такой стратегии, а не будете тратить свое время в погоне за лучшим инструментом для решения частной задачи в каждый конкретный момент”.

Цена объединения коллекции имеющихся приложений с коммерческой средой для S&A традиционно была крайне высокой. Тем не менее, новые программные приложения, основанные на сервисно-ориентированной архитектуре (*service-oriented architectures – SOA*) и языке XML, могут обеспечить значительное снижение затрат на интеграцию, предоставив экономичный способ сохранения инвестиций в уникальную интеллектуальную собственность.

✓ Вопросы для лиц, принимающих решения

Лицам, принимающим решения, необходимо разобраться, какие программные приложения находятся в повседневном пользовании и каких команд сотрудников компании. Во что обходится поддержание их пользовательского интерфейса? Откуда поступают данные для этих приложений?

Более специфической задачей для лиц, принимающих решения, будет необходимость разобраться в вопросе, как обеспечивается доступ рассматриваемых систем к данным в разных форматах – STEP, IGES, STL, Parasolid, ACIS, Pro/ENGINEER, CATIA V4 и V5, SolidWorks, DXF, DGN, ANSYS, ABAQUS, Nastran, RecurDyn, MSC.Adams и др. Кроме того, следует оценить, насколько хорошо эти системы способны поддерживать возможности SOA для обеспечения интеграции и информационного обмена с другими приложениями и хранилищами данных.

Затем эти лица должны задаться следующим вопросом: действительно ли возможно автоматизировать потоки данных и уменьшить, таким образом, риск ошибок при одновременном увеличении производительности? Можно ли интегрировать инструменты, предназначенные для решения частных задач, в более общий процесс? Если да, то какие поставщики решений и сервисов лучше всего оснащены для того, чтобы помочь вам в этом?

6 Визуализация и взаимодействие (collaboration)

✓ Востребованность в практической деятельности

В настоящее время активно дискутируется вопрос о значении 3D-визуализации при распространении информации о разрабатываемом изделии во всех подразделениях расширенного предприятия. Если пользоваться распространенной оценкой, то на каждого создателя (*author*) информации приходится 10 её пользователей. На самом деле многие считают, что это соотношение может достигать 1:20. Даже если это так, производители, которых мы опрашивали, только начали осознавать истинные возможности технологий 3D-визуализации в том, чтобы повысить ценность инструментов моделирования и инженерного анализа на всех этапах разработки изделия, а также в цепочках обеспечения комплектующими, поставки и поддержки изделия.

Большинство производителей, создающих лучшие в своём классе изделия, применяют 3D-визуализацию во всех своих бизнес-процессах. Это же относится к ведущим проектно-строительным компаниям, которые занимаются созданием инфраструктуры. Только один пример – представитель ведущего японского производителя бытовой электроники сообщил нам, что “симуляцию и инженерный анализ сравнительно недавно стали рассматривать в качестве важного инструмента визуализации, в дополнение к анализу эксплуатационных характеристик изделия”. По его словам, симуляция более высокого качества позволяет всем членам команды проектировщиков принимать решения, используя базовую 3D-модель (*reference 3D model*).

Возможности коммуникаций с применением 3D-визуализации интуитивно понятны. В отличие от двумерных технических чертежей, специализированных отчетов и распечаток числовой информации, требующих специальной подготовки для интерпретации, 3D-данные могут легко восприниматься всеми заинтересованными лицами, которые далеко не всегда являются специалистами того же уровня, что создатели информации. Более того, к 3D-моделям может быть добавлена информация, рассчитанная на заинтересованных лиц определенной категории. Программные средства для просмотра и рецензирования проекта дают возможность легко манипулировать 3D-данными, представленными в визуальной форме, и при этом от пользователя не требуется владение инструментами, с помощью которых данные были созданы. Кроме того, рассылаемые файлы, созданные средствами визуализации, могут иметь гораздо меньшие размеры, чем оригинальные. Облегченные файлы можно передавать по не слишком скоростному интернету и другим сетям, и работать с ними на обычных компьютерах.

✓ Возможности функционала

Какой функционал по визуализации необходим в сфере S&A? Общедоступная платформа для просмотра информации позволит ускорить распространение (*sharing*) CAE-данных и сделать результаты компьютерного моделирования доступными беспрецедентному большому числу пользователей, не входящих в группу

специалистов по инженерному анализу. Кроме того, такая платформа уменьшит сложность IT-инфраструктуры, которую надо поддерживать производителям изделий. Это будет достигаться путем минимизации числа рассматриваемых решений, которые необходимы пользователям результатов моделирования. Всё это сократит затраты и, что еще более важно, расширит круг лиц, которые смогут извлечь пользу из результатов моделирования и инженерного анализа [в процессе своей работы].

✓ Вопросы для лиц, принимающих решения

Лица, принимающие решения, должны поинтересоваться, какое время затрачивают пользователи на отбор нужных данных, интерпретацию (*clarifying*), сопоставление и публикацию результатов инженерного анализа. Какие инструменты могут облегчить представление результатов моделирования в форме легко воспринимаемой визуальной презентации, причем так, чтобы в процессе их трансляции не терялась точность? Следующий вопрос: могут ли подготовленные файлы распространяться с целью получения комментариев к проекту, пометок и предложений со стороны участников расширенной команды разработчиков? Наконец, какие инструменты лучше всего помогут руководителям высшего звена использовать результаты S&A для оценки прогресса в работе над проектом, а также соответствия проекта предъявляемым требованиям?

7 Многократное использование процессов и знаний

✓ Востребованность в практической деятельности

Производители в беседе с нами рассказывают, что к самым существенным ограничениям, не позволяющим им получить большую отдачу от моделирования и инженерного анализа, относятся [недостаток] кадров и [напряженный] производственный график – слишком мало у них опытных, знающих специалистов и слишком мало времени. Руководитель проекта, представляющая крупного подрядчика предприятий аэрокосмической и оборонной промышленности, отметила: “Ограничения [в использовании CAE] связаны только с постановкой задачи (*set up*) и умением проводить моделирование процессов”. Она назвала это “проблемой корпоративного знания” (*matter corporate knowledge*).

Менеджер, представляющий производителя самолетных двигателей, конкретизирует, почему столь необходима более качественная фиксация [корпоративных] знаний. “Когда проводится инженерный анализ [некой конструкции], а через несколько лет возникает необходимость повторить (*redo*) или актуализировать (*update*) моделирование, мы с большим трудом находим и собираем вместе все необходимые данные. Или ж, если вносятся какие-то изменения в конструкцию, каким образом можно убедиться, что анализ был проведен заново, когда входные данные изменились? Для этого возможности PDM-системы должны быть расширены в те области, где применяется инженерный анализ”.

✓ Возможности функционала

Каков будет ответ? Мы обнаружили, что многие производители намерены внедрять технологии,

позволяющие автоматизировать фиксацию, классификацию, хранение, поиск и повторное использование знаний. Например, японский производитель бытовой электроники в качестве одной из целей группы моделирования определил стандартизацию хранения ноу-хау. Как сообщил нам руководитель разработок, это станет большим преимуществом над сегодняшними инструментами управления данными моделирования, которые топорно собраны из собственных разработок – электронных таблиц, документов, баз данных и пр.

Представитель японского автопроизводителя рассказал об аналогичных проблемах, а также о том, что делается для их решения: “В настоящее время системы, которые предоставляют возможность совместного использования результатов симуляции и библиотек, в которых эти результаты сопоставляются с данными испытаний, находятся в переходной стадии (*in transition*). Нашей целью является обеспечение доступа к ним в *web*-среде, а также поиска [информации]. Именно такие системы уже имеются в *Excel*, *Word* и для отсканированных бумажных документов”.

Технологии, поддерживающие такие инициативы для фиксации [корпоративных] знаний на основе стандартизированных, широкодоступных методов, повысят надежность (*trust*), упростят для сотрудников организации интерпретацию и облегчат повторное использование данных и процессов, подготовленных другими сотрудниками.

Применение подобных решений приносит и дополнительную выгоду, поскольку активы корпоративных знаний будут застрахованы от смены поколений сотрудников. “Одной из целей [нашего проекта по фиксации ноу-хау] является передача знаний более молодым инженерам”, – рассказал представитель компании-производителя бытовой электроники. – “Японские инженеры седеют. Поскольку инженеры-проектировщики очень заняты, а жизненный цикл изделия очень короток, то оба этих фактора затрудняют передачу тонкостей моделирования процессов”.

Подобные решения позволят специалистам фиксировать и повторно использовать лучшие практики (*best practice*), управлять ими на протяжении всего цикла разработки изделия, а также применять их в работе над другими проектами. Оперативный доступ к лучшим практикам и опыту решения ключевых проблем, полученному в процессе выполнения предыдущих проектов, является тем фактором, который обеспечивает их повторное использование и возможности поиска данных. Вследствие своевременного учета данных о функционировании изделия, что позитивно влияет на принимаемые проектные решения, качество изделия улучшается.

✓ Вопросы для лиц, принимающих решения

Руководители при оценке [программных] технологий должны обратить внимание на возможности рассматриваемых решений для сбора и фиксации тонкостей и ноу-хау, заложенных в применяемых процессах и приложениях. Насколько развиты возможности фиксации знаний и управления ими? Насколько

накопленный объем корпоративных знаний способствует повышению эффективности команды разработчиков или, другими словами, в какой мере лучшие практики позволяют ускорить и автоматизировать в целом процессы, проектирования изделия, инженерного анализа и производства? Впечатляет ли послужной список поставщика программных решений, и достаточно ли долго этот поставщик присутствует на рынке, чтобы обеспечить надежность поставок и выполнение своих обещаний?

8 Управление процессом S&A

✓ Востребованность в практической деятельности

Со стимулирующими бизнес решениями, обеспечивающими повторное использование процессов и знаний, тесно связаны решения для управления процессом S&A (*simulation process management*). Специалисты многократно рассказывали нам, что при параллельном выполнении проектных работ или же на более поздних этапах проектирования зачастую оказывается, что необходимые результаты CAE являются недоступными, устаревшими или же содержат ошибки,

связанные с повторным вводом и рассылкой данных вручную. Кроме того, нужны средства для фиксации и совместного использования лучших способов организации рабочих процессов за пределами того проекта, в рамках которого они были разработаны.

Такая потребность имеет место во всех отраслях промышленности, изучением которых мы занимались. Вот что рассказал менеджер, работающий в компании, производящей самолетные двигатели: “Нам необходимо оперировать данными инженерного анализа намного лучше, чем мы это делаем в настоящее время. Очень важны инструменты, позволяющие скрыть или зашифровать некоторую часть процесса моделирования, оставив нетронутыми другие”. Это позволяет упростить работу с поставщиками, субподрядчиками и временными партнерами.

Менеджер другой компании, производящей реактивные двигатели, подтвердил наличие такой потребности, а также отметил, что не менее важным в сравнении с проектными данными является осуществление контроля над версиями и структурой CAE-данных: “Иногда мы отдаем подрядчикам разработку

Табл. 1. Управление процессами/данными/потоками заданий S&A: потребности промышленности

	Медицинское оборудование	Бытовая электроника	Автомобильные моторы	Транспортное оборудование	Аэрокосмическая и оборонная промышленность	Авиадвигатели
Поддержка инженера-проектировщика и инженера-аналитика с целью оперативного получения корректного результата	высокая	высокая	высокая	высокая	высокая	высокая
Фиксация корпоративных знаний	высокая	высокая	высокая	средняя	высокая	высокая
Совместное и повторное использование CAE-данных в рамках глобального предприятия	высокая	высокая	высокая	средняя	высокая	высокая
Управление потоками CAE-данных в рамках отдельных подразделений	низкая	средняя	высокая	высокая	высокая	высокая
Управление потоками данных между CAE- и CAD-системами	низкая	средняя	высокая	высокая	высокая	высокая
Управление сопоставлением результатов CAE и данных испытаний	средняя	средняя	высокая	средняя	средняя	средняя
Поддержка S&A на системном уровне в процессе разработки изделия в целом	низкая	низкая	средняя	высокая	высокая	высокая
Управление [CAE-данными] при проектировании с учетом методики “Six Sigma” (DFSS), междисциплинарной оптимизации (Multi-disciplinary design optimization – MDO), а также при робастном проектировании (robust design)	низкая	низкая	низкая	низкая	высокая	средняя
Сотрудничество с партнерами, субподрядчиками, поставщиками	низкая	низкая	средняя	низкая	высокая	средняя
Защита интеллектуальной собственности при CAE-аутсорсинге	низкая	низкая	средняя	средняя	средняя	средняя
Управление [CAE-данными] с учетом требований Правил международной торговли оружием (ITAR)	низкая	низкая	низкая	низкая	средняя	низкая
Построение и поддержка библиотек данных о материалах	средняя	высокая	средняя	низкая	низкая	низкая
Управление производственными данными, необходимыми для S&A	средняя	высокая	средняя	низкая	низкая	низкая

Примечание: Более подробно с исследованиями, результаты которых представлены в таблице, можно ознакомиться в документе “Simulation data management: rationalizing the decision” (“Управление данными моделирования: совершенствование принимаемого решения”), опубликованном в июле 2006 г. компанией Spar Point Research (www.sparllc.com)

отдельных узлов двигателя. В этом случае выдвигаются требования совместного использования корректной версии данных инженерного анализа”.

На аналогичные потребности указывает руководитель разработок на предприятии, производящем медицинское диагностическое оборудование: “[Что сдерживает проведение работ] в рамках цикла разработки изделия? Мы выполняем чрезвычайно важную работу по ускорению выполнения производственного графика. Однако нашим упущением является обеспечение совместного использования данных в глобальном масштабе”.

У представителей автомобильной промышленности имеется своя версия в изложении подобных проблем. “[Существуют] узкие места при циркуляции [CAE]-данных. Некоторые области являются особо требовательными... Например, в кузовных работах и точечной сварке имеются моменты, за которыми надо следить очень внимательно... Следует разобраться, каким образом местоположение точек сварки может повлиять на поведение конструкции в целом, и будет ли распределение этих точек уточняться при детализации производственного процесса. Вы должны быть уверены, что располагаете корректными данными моделирования”, – рассказывает руководитель разработок на предприятии одного немецкого автопроизводителя.

Другая важная задача состоит в том, чтобы уже на стадии разработки изделия обеспечить более полный учет знаний, приобретенных в процессе производства. “На пути более широкого применения S&A есть еще одно ограничение – необходимо найти более эффективные способы, как использовать при этом опыт производства. Процесс разработки изделия имеет зависимость от особенностей процесса производства, однако в настоящее время она в полной мере не учитывается при моделировании. Современные PDM-системы не могут помочь в управлении этими зависимостями”, – отмечает один из руководителей японского производителя бытовой электроники.

На самом деле автоматизация процесса [S&A] и интеграция набора инструментов в каком-то смысле более важны, чем функциональные возможности каждого отдельно взятого решения. Все специалисты, среди которых проводился опрос, подчеркнули необходимость интеграции, что позволяет избежать [дополнительной] работы и ошибок, связанных с применением различающихся форматов данных – ценность такого шага совершенно очевидна.

Одна из исследуемых нами организаций разрабатывает собственную среду для управления данными и процессами. С её помощью планируется объединить как коммерческие коробочные продукты (*Commercial Off-The-Shelf – COTS*), так и программные приложения собственной разработки, что позволит стандартизировать обработку данных в рамках всей этой организации. Однако большинство других считает оптимальным подходом сотрудничество с разработчиками коммерческих решений, что позволяет быстро внедрить их.

“Совместное использование данных в глобальном масштабе, включая разные производственные

площадки, является одной из тем, по которой мы продолжаем работать с поставщиком коммерческих PDM-систем ... Повышение эффективности процессов, надежности, достижение меньшей подверженности ошибкам за счет [устранения] ручного вмешательства – это очень важно для нас. ... Недостаточно развитые возможности совместного использования данных и глобальной коллаборативности больше всего ударяют по производительности в том, что связано с анализом, поскольку пользователи слишком часто получают устаревшие данные, не синхронизированные [с уже внесенными изменениями]... Именно поэтому мы движемся к действительно глобальному средству хранения данных – тому, что может помочь и в сохранении знаний”, – рассказал нам менеджер предприятия, производящего диагностическое оборудование.

✓ Возможности функционала

Специалисты-практики констатировали, что недостаточное внимание, уделяемое управлению CAE-данными, процессами и потоками заданий, является единственным серьезным препятствием, ограничивающим достижение большей эффективности их вложений в средства компьютерного моделирования процессов. Было установлено, что лучшие практики, позволяющие преодолеть эти ограничения, подразумевают внедрение таких решений, которые обеспечивают следующие три возможности:

- более тесное объединение приложений, применяемых для S&A;
- наличие средств автоматизации процессов S&A, что позволяет ускорить работу;
- фиксацию, архивирование, хранение и последующее извлечение из архива данных о моделях для S&A, входных данных, начальных условий, результатов расчетов, а также связанной с этим информации о сделанных предположениях и выводах.

Акцент делается на технологиях, которые позволяют фиксировать корпоративные знания, методы и рабочие процессы в виде программ-мастеров (*wizards*) и других инструментов, инкапсулирующих знания и обеспечивающих многократное их использование в автоматизированном режиме. Кроме того, важной является технология, позволяющая лучше управлять потоками данных между различными инструментами S&A, а также между ними и CAD-приложениями.

✓ Вопросы для лиц, принимающих решения

На что должны обратить внимание лица, принимающие решение? Как рассказали нам инженеры, в практической деятельности им необходимы решения, которые позволят им работать быстрее и получать более надежные результаты (*work faster and with higher confidence*).

Инструменты управления процессом S&A должны соответствовать следующим ключевым требованиям:

- гарантировать, что инженерный анализ проводится для новейшей и корректной CAD-модели;

- обеспечивать возможность использования данных, полученных на стадии применения CAE-инструментов одного вида, в качестве исходных данных для инструментов, применяемых в других дисциплинах;

- обеспечивать удобное восстановление старых моделей, процессов и полученных результатов для проведения повторных расчетов или их модификации через несколько месяцев или даже лет.

После того, как [выбор инструментов для инженерного анализа] сбалансирован в соответствии с требованиями на уровне [конечного] пользователя, на какие требования корпоративного уровня должны обратить внимание лица, принимающие решения? Большая часть производителей сообщила нам, что их будет интересовать, можно ли встроить средства управления данными и процессами S&A в программную среду, выполняющую следующие функции:

- ✓ Управление конфигурацией (*configuration management*), управление конструкцией изделия (*product structure management*):

- Требуется согласование CAD-геометрии и CAE-моделей и процессов при разработке нового изделия. Существует необходимость в двух видах организации работ: когда во главе угла стоит проектирование (*CAD-led*), и когда определяющим является конечно-элементный анализ (*FEM-led*);

- Необходима координация моделей и результатов инженерного анализа с таблицей вариантов конструкции изделия (*matrice of product variants*), что характерно для разработки автомашин.

- ✓ Управление изменениями конструкции (*change management*), управление потоками заданий (*work-flow management*):

- Необходимо, чтобы при изменениях геометрии изделия своевременно проводился повторный инженерный анализ;

- Необходимо обеспечить обратную связь, чтобы полученные результаты анализа оказывали влияние на конструкцию изделия.

- ✓ Управление требованиями (*requirements management*):

- Необходимо, чтобы обеспечивалась возможность программно отслеживать соответствие моделей техническим характеристикам изделия, заданным на системном уровне;

- Необходимо, чтобы поддерживалась передача требований “по цепочке” – от целевых требований на системном уровне к техническим характеристикам на уровне компонент (*system-level targets are “cascaded” down*).

- ✓ Управление проектом или программой:

- Необходимо управление обменом данными для совместного использования партнерами в соответствии с уровнем доступа (*trust level*);

- Необходимо выполнять требования Правил международной торговли оружием (*International Traffic in Arms Regulations – ITAR*);

- Необходимо выдерживать производственный график.

- ✓ Управление документооборотом (*document management*):

- Необходимо обеспечить, чтобы данные инженерного анализа сочетались с документами компании или могли быть инкорпорированы в них.

- ✓ Административная отчетность (*management reporting*).

Последующие шаги

На какие вопросы должны найти ответы лица, принимающие решения, чтобы помочь своим компаниям достичь поставленной цели и внедрить компьютерное моделирование процессов по возможности раньше, причем таким образом, чтобы оно охватывало весь цикл разработки изделия?

Начать следует с полного рассмотрения конфигурации среды, [объединяющей все программные решения S&A]. Подтверждена ли её работоспособность? Построена ли она на базе инфраструктурных технологий, которые знакомы представителям организации, занимающейся поддержкой ваших пользователей? Лучше, когда эта среда опирается на инфраструктуру, которая уже развернута и сопровождается. Самый лучший вариант, когда эта среда является частью уже существующей инфраструктуры, на базе которой уже создаются или управляются массивы (*volume*) структурированных данных об изделии.

Такой анализ поможет оценить затраты на поддержку [инструментов S&A] в долгосрочной перспективе, а также разобраться, будут ли новые технологии расширять уже существующий функционал или же потребуют новой, дополнительной инфраструктуры.

Лица, принимающие решения, должны также задать такой вопрос: соответствует ли рассматриваемая программная технология перечню рассмотренных в данном документе составных частей CAE-функционала и является ли она открытой для них?

Перечислим их еще раз:

- Масштабируемость и последовательность;
- Интеллектуальные средства генерации CAE-моделей;
- Производительность, достаточная для применения в промышленности;
- Моделирование взаимозависимых физических полей и многодисциплинарное моделирование;
- Открытость для интеграции [или совместимость данных];
- Визуализация и взаимодействие;
- Многократное использование процессов и знаний;
- Управление процессом S&A.

И, наконец, необходимо рассмотреть вопросы, касающиеся состояния бизнеса вендоров CAE-систем. Занимает ли поставщик софта ведущие позиции на рынке, и какова его рыночная доля в рассматриваемой области? Как долго он присутствует на рынке? Достаточно ли велик его опыт в области компьютерного моделирования процессов, и можно ли рассчитывать на этого вендора в качестве долгосрочного партнера? ☹️