

Развитие математического моделирования при ограниченных ресурсах

Один из основных способов познания окружающего мира, выработанных человечеством за всю его историю, – это моделирование. В обычной жизни человек всегда строит модели, будь то схема предстоящего важного разговора или план покупок при посещении продовольственного магазина. Сопоставление модели, построенной на ограниченном наборе знаний, с реалиями окружающего мира служит не только ее проверкой, но и источником новых знаний, которые будут использованы для построения новых, уточненных моделей.

Точно таким же образом происходит познание в более сложной деятельности человека – в научных исследованиях, при проектировании новой техники, при разработке новых технологий. Особую роль в научно-техническом познании играют математические модели. И это понятно, если учесть то, что математика изначально развивалась как наиболее абстрактный способ отображения и познания мира. Можно утверждать, что чем больше в модели математики, тем более она абстрактна и, соответственно, тем большую часть мира такая модель отображает.

Приведем трактовку понятий математической модели и математического моделирования современным ГОСТом. Согласно ГОСТ Р 57188 – 2016 “Численное моделирование физических процессов”, математиче-

ское моделирование – это исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей, а математическая модель – это модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений.

Применительно к современным методам и средствам математического моделирования данное определение можно сформулировать так: математическое моделирование – это методы исследования сложных и/или объемных инженерных и научных задач, реализованные с помощью специализированных программных инструментов для использования на высокопроизводительной вычислительной технике. Исходя из последнего уточнения, мы ограничиваем математическое моделирование его технической или промышленной составляющей и делаем акцент на применении математического моделирования в прикладных технических отраслях.

Математическое моделирование в жизненном цикле

Этапы разработки, производства, эксплуатации и утилизации сложной современной техники в настоящее время принято объединять в единый процесс, называе-

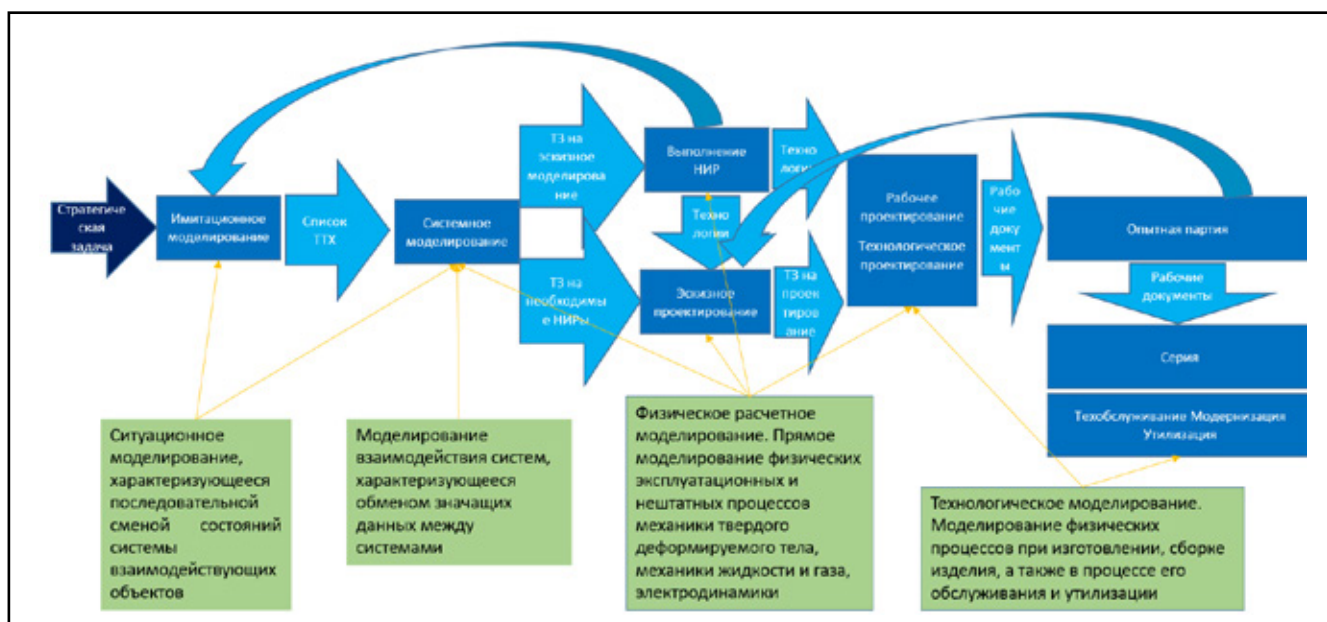


Рис. 1. Жизненный цикл объекта и математическое моделирование

мый жизненным циклом сложной техники. Преимущества такого единого процесса очевидны, мы рассмотрим их применительно к использованию математического моделирования в разработке современной сложной техники. На рис. 1 схематично изображен жизненный цикл объекта. Использование промышленного математического моделирования целесообразно на следующих фазах жизненного цикла:

1. **Фаза имитационного моделирования**, на которой выбирается принципиальное решение поставленной стратегической задачи. Результатом фазы должно быть определение тактико-технических характеристик технических объектов, которые наиболее адекватно обеспечивают решение поставленной задачи.
2. **Фаза системного моделирования**, на которой происходит взаимная привязка основных систем проектируемого технического объекта. Результатом этой фазы должен быть список технологий, реализующих необходимые свойства систем объекта. Важной составляющей частью данной фазы должно быть формирование технических заданий на НИРы, имеющие целью разработку недостающих технологий.
3. **Фаза расчетного физического моделирования**, где наряду с геометрическим моделированием моделируются с достаточной степенью подробности физические процессы в системах объекта. Результат фазы – выпуск эскизных и впоследствии рабочих чертежей.
4. **Фаза технологического моделирования**, где происходит отработка технологического процесса изготовления и сборки.
5. **Фаза моделирования эксплуатационного износа**. Основной результат – предотвращение аварий из-за нерабочего состояния объекта моделирования.
6. **Фаза моделирования утилизации**. Результат фазы – создание и последующая отработка технологий утилизации с целью минимизации ущерба окружающей среде и расходов на утилизацию.

Естественно, для каждой фазы необходимы различные программные инструменты, наиболее подходящие для решения поставленных задач. Так, для первой фазы имитационного моделирования необходимы инструменты пошагового ситуационного моделирования. Для второй фазы могут быть частично использованы инструменты пошагового ситуационного моделирования и инструменты системного анализа. Третья фаза – область полного господства CAE-технологий. На четвертой фазе востребованы САМ-технологии. На пятой и шестой фазах в основном задействуются САМ-технологии.

Информационное обеспечение жизненного цикла должно строиться как единый процесс, и программное обеспечение, в частности различные программные инструменты, должны не только поддерживать связь друг с другом, но и организовывать единое информационное пространство, иначе процесс распадется на множество трудносвязуемых отрезков.

Есть существенная разница между возможностью связи по данным одних программных инструментов с другими (например, через нейтральные форматы) и передачей данных в общем информационном простран-

стве, которое поддерживают различные программные инструменты. При осуществлении связи по данным через форматы данных вероятны ошибки как вследствие различной реализации данных, так и в силу их различной интерпретации. А в едином информационном пространстве все данные типизированы и реализованы один раз для всех инструментов, что исключает ошибки при передаче информации.

Укрупнение и объединение программных инструментов

Все крупные производители программных инструментов в силу указанных выше обстоятельств стремятся укрупнить свои продукты, образуя общую с другими производителями программных продуктов информационную экосистему. В мире образовалось несколько наиболее крупных кластеров, объединяющих следующие бренды: ANSYS, Siemens, Altair, PTC, Autodesk, Dassault Systemes и др. Процесс объединения некоторых из них представлен на рис. 2.

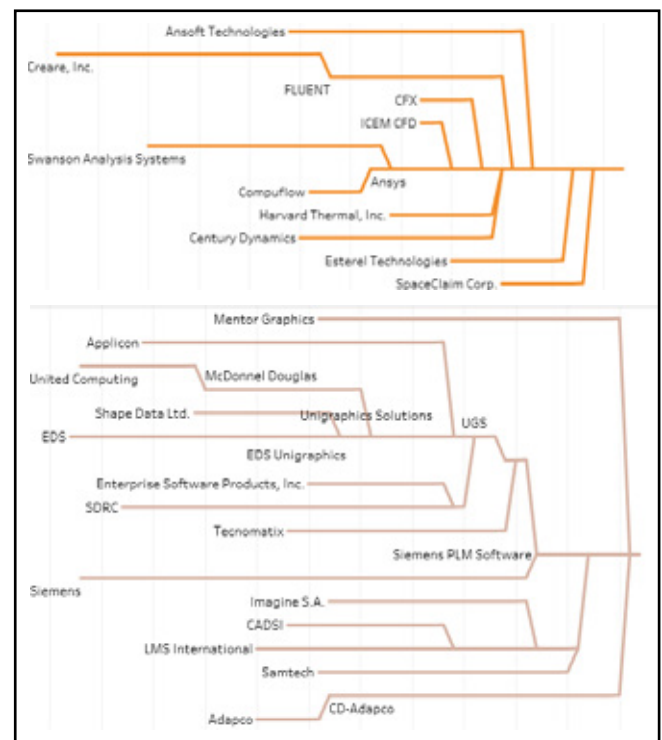


Рис. 2. Динамика объединения программных продуктов в информационные системы

Текущее состояние развития программных инструментов в России

В России этот процесс отстал на многие десятилетия. Только в последние год-два были предприняты некоторые попытки по развитию программных инструментов. Однако нет ничего хуже, чем ждать и догонять. Разрыв между лучшими российскими разработками и лучшими зарубежными в области программных инструментов составляет около 30 лет – то есть тот самый срок, который прошел с середины-конца 80-х прошлого века, когда в России

прекратились финансовые и творческие вложения в развитие технологий. За 30 лет зарубежные производители ушли далеко вперед, при этом полностью заняв всю нишу коммерческой реализации программных инструментов. Это означает, что если какой-либо отечественный производитель, имея ресурсы, взялся бы догонять зарубежных конкурентов, то даже создав продукт мирового уровня, он столкнулся бы с необходимостью отвоевывать рынок, что съело бы не меньшие ресурсы, чем те, что были потрачены на создание продукта-аналога.

В области расчетного моделирования физических процессов одним из явных мировых лидеров является комплекс программных продуктов ANSYS. Объем дистрибутива ANSYS в запакованном формате составляет примерно 10 гигабайт. С учетом того что это не медиа, а полноценный наукоемкий код и что в среднем один научно ориентированный программист пишет в год не более 150 килобайт проверенного, оттестированного и задокументированного кода, получим ориентировочную трудоемкость, заложенную в ANSYS, равную 60 тысячам человеко-лет. И если кто-либо решится создать аналог, то придется найти финансовые ресурсы – от 120 млрд рублей и человеческие – от 1000 умных квалифицированных и организованных программистов и научных работников, и результат не замедлит сказаться через 8-10 лет. За этот срок конкуренты опять уйдут вперед, и окончательно догнать их можно будет не ранее, чем через 15 лет, что является хорошим показателем при стартовой разнице в 30 лет отставания.

Хороший многофункциональный программный инструмент – это явление сродни научной школе, на создание которой уходят десятилетия, причем при наличии благоприятных условий. Понятно, что в настоящее время в России никто не готов потратить обозначенные ресурсы. И возникает традиционный российский вопрос “Что делать?”. И также другой знакомый вопрос “А стоит ли вообще что-либо делать?”.

Прежде чем ответить на оба вопроса, уточним положение дел с программными инструментами на передовых российских предприятиях, где они действительно востребованы. По оценке автора, полученной за последние пять лет из опыта взаимодействия с более чем 200-ми отечественными предприятиями, производящими сложную продукцию, соотношение зарубежного нелицензионного и лицензионного наукоемкого программного обеспечения составляет 4 к 1 или более того. Соотношение зарубежного и отечественного наукоемкого программного обеспечения – 50 к 1 или более того. Эти оценки субъективны, хотя вряд ли стоит ожидать объективного анализа в этой области. И как ни странно, такое положение дел в настоящее время всех устраивает, хотя вряд ли оно будет способствовать развитию промышленных технологий и программных инструментов.

Что касается вопроса о том, стоит ли что-либо делать в области развития отечественных инженерных программных инструментов, то он того же порядка, как вопросы о том, стоит ли разрабатывать отечественный танк или самолет или развивать отечественную микроэлектронику и космические технологии, и им подобные. Эти вопросы относятся к сфере стратегического планирования

развития государства и, на взгляд автора, отрицательный ответ на любой из них несет серьезный риск для полноценного развития России как самостоятельного государства.

Вернемся к ответу на вопрос “Что делать? Или как ликвидировать 30-летнее отставание в разработке наукоемких программных продуктов?”. Догонять, повторяя и воспроизводя технологии, разработанные зарубежными конкурентами, слишком ресурсоемко и бесперспективно. Следовательно, нужен альтернативный план развития.

Альтернативный план развития инженерных информационных технологий

Общее информационное пространство

1. Поддержка и развитие тенденции к образованию единого информационного пространства инженерного анализа и математического моделирования. Этот процесс ведет к необходимости построения единой системы интерфейсов обмена инженерными данными. К инженерным данным относятся: геометрические модели, модели физических процессов, технологические модели, имитационные модели, системные модели, нормативные документы, в том числе текстовые.
2. Стандартизация интерфейсов обмена инженерными данными неотвратимо ведет к разработке системы инженерных данных, которая должна быть доступна для распространения. Иначе каждый разработчик неизбежно будет строить собственную систему данных, что даже при стандарте интерфейсов приведет к ненужным повторам в разработках. Пример ненужных повторных разработок – многочисленные средства чтения и записи различных форматов данных, которые сейчас вынужден писать почти каждый разработчик, а также средства сопряжения форматов со своими внутренними системами данных.
3. Как это ни странно, но логическое развитие п.п. 1 и 2 приводит к полной ненужности форматов данных, даже таких популярных, как STEP или PARASOLID. Действительно, если есть общепринятая доступная система инженерных данных и есть стандартизованные интерфейсы, то зачем нужны еще форматы? Данные могут пересылаться напрямую из системы данных одного разработчика (пользователя) в систему данных другого пользователя.
4. Создаваемое информационное пространство должно отвечать следующим требованиям: минимальность, простота, расширяемость, модульность.

Система автоматизированных расчетных и проектных методик

В каждой отрасли накопилось определенное число типовых расчетно-проектировочных технологий, выполнение которых является обязательными процедурами при проектировании любой новой техники. При незначительных конструктивных изменениях во вновь создаваемой технике хорошо “работает” ранее накопленный

опыт, но при значительных изменениях в конструкции старый опыт может не работать, и расчеты или/и эксперименты необходимо проводить по полной схеме. Для таких случаев весьма полезно иметь надстройку над универсальным программным инструментом, решающую достаточно узкий класс прикладных задач, а также имеющую соответствующие настройки и защиту от несанкционированного использования данных. Такая надстройка ранее называлась методикой расчета. При реализации такой методики в виде программного приложения ее можно назвать автоматизированной методикой.

Использование автоматизированных расчетных методик имеет следующие преимущества: возможность использования менее квалифицированных кадров, получение решения с точностью, не ниже заданной при допустимом наборе входных параметров, параметрическое задание входных параметров. Преимуществом методики с точки зрения управления проектом является возможность и даже необходимость ее сертификации. Достаточный набор автоматизированных расчетных методик может “закрыть” расчетные потребности проекта на 80-100% и в несколько раз увеличить скорость расчетных работ.

Разработка совершенно новых технологий расчетного моделирования

Как уже отмечалось выше, нет ничего хуже, чем ждать и догонять. А если речь идет о ликвидации 30-летнего отставания в области реализации расчетных технологий, стратегия проторенных путей является неэффективной и весьма затратной. Поэтому новый расчетный продукт, не повторяющий уже имеющиеся технологии, а реализующий новые, будет востребован. Лучшая стратегия ликвидации отставания – разработка нового и занятие нового сегмента рынка. Применительно к инженерным программным продуктам это означает разработку и реализацию новых методов расчетного анализа, разработку и реализацию новых или ранее не предлагавшихся схем взаимодействия поставщика и потребителя.

Можно отметить следующие перспективные направления в области новых методов расчетов: бессеточные методы, методы с явной схемой интегрирования, логические и вероятностные методы, многоуровневая параллелизация, многомерные нелинейные преобразования. В области организации взаимодействия поставщика и потребителя потенциал развития имеют облачные технологии, временные коллективы технической поддержки, центры компетенций и поддержки, система аттестации инженеров, система сертификации методик.

По сравнению с линейной стратегией ликвидации 30-летнего отставания реализация данного плана мероприятий позволит в разумный срок не просто догнать зарубежных конкурентов, но и выйти в лидеры в разработке наукоемких продуктов инженерного анализа.

Общественно-организационная структура

Как любой ИТ-проект, задача ликвидации отставания в разработке инженерных программных инструмен-

тов может быть реализован на трех уровнях: уровень полностью открытого проекта (уровень Open Source), уровень коммерческого проекта и уровень закрытого государственно-корпоративного проекта. Каждый уровень реализации имеет свои особенности.

Уровень Open Source

- ▶ **Цель** – исследования и разработка новых наукоемких технологий, подготовка молодых кадров.
- ▶ **Финансирование** – государственные и корпоративные гранты, возможны коммерческие заказы.
- ▶ **Субъект разработки** – без ограничений.
- ▶ **Распространение** – по одной из открытых лицензий.
- ▶ **Защита** – свободно.

Уровень коммерческих разработок

- ▶ **Цель** – получение коммерческой выгоды от продаж программного продукта и от его коммерческого использования.
- ▶ **Финансирование** – коммерческое, возможны государственные и корпоративные гранты.
- ▶ **Субъект разработки** – коммерческая структура.
- ▶ **Распространение** – продажи.
- ▶ **Защита** – исключительное право на коммерческий продукт и программные средства защиты.

Уровень государственных и корпоративных закрытых разработок

- ▶ **Цель** – создание и использование наиболее передовых технологий, предоставляющих конкурентные преимущества, а также использование засекреченных технологий, что не позволяет конкурентам раскрыть и/или повторить уже созданные решения.
- ▶ **Финансирование** – государственное.
- ▶ **Субъект разработки** – государственное предприятие или подразделение.
- ▶ **Распространение** – по утвержденному списку пользователей.
- ▶ **Защита** – статус государственной (корпоративной) тайны и программно-аппаратные средства защиты.

В силу масштабности задачи целесообразно использовать все плюсы, которые дает каждый из уровней. А что касается минусов, то они могут быть легко компенсированы правильной организацией распределения активности по уровням. Поэтому представляется, что проект должен иметь реализацию сразу на всех уровнях. Преимущества такого подхода очевидны:

- ▶ устойчивость и жизнеспособность при наличии неблагоприятных факторов (перебои с финансированием, коммерческие промахи, неудачные кадровые решения, ошибки в управлении);
- ▶ широкая база исследователей и разработчиков;
- ▶ широта охвата потенциальных пользователей;
- ▶ более легкий доступ к исполнителям проектов и разработкам;
- ▶ развитие бренда.

Отдельным важным преимуществом трехуровневого подхода является возможность легкого перехода с уровня на уровень в плане технологий, кадров, других ресурсов.

Заключение

В данной статье рассмотрены вопросы применения математического моделирования к построению системы информационной поддержки жизненного цикла сложной техники и предложен альтернативный план развития отечественных инженерных информационных технологий, который должен реализовываться на двух уровнях – техническом и организационном.

Технический уровень включает:

- ▶ создание общих систем инженерных данных и интерфейсов обмена инженерными данными;
- ▶ создание системы автоматизированных расчетных инженерных методик;

- ▶ разработку новых прорывных расчетных технологий. Организационный уровень включает:
- ▶ уровень Open Source;
- ▶ коммерческий уровень;
- ▶ государственно-корпоративный уровень.

Реализация данного плана мероприятий будет способствовать решению стратегической задачи ликвидации 30-летнего отставания в области математического моделирования и позволит в разумный срок не просто догнать зарубежных конкурентов, но и выйти в лидеры в области разработки наукоемких продуктов инженерного анализа.

А. Ю. Петров, к.т.н.

НОВОСТИ

АО “КАДФЕМ Си-Ай-Эс” – ребрендинг

АО “КАДФЕМ Си-Ай-Эс” провело ребрендинг, сменив свое прежнее название на АО “Моделирование и цифровые двойники” (АО “МЦД”). Оставаясь при этом в авангарде инженерного численного моделирования и являясь ведущим поставщиком инженерных решений, компания сфокусировалась на новых инновационных областях применения моделирования и разработке собственных программных продуктов.

Компетенции компании, ее многолетний опыт и ноу-хау применимы практически ко всем отраслям и приложениям в мире моделирования. АО “МЦД” продолжит лицензировать, внедрять и поддерживать ведущие программные продукты российских и зарубежных разработчиков для численного моделирования – от механики деформируемого твердого тела до гидродинамики, электромагнетизма и системного моделирования. Компания также продолжит оказывать клиентам учебно-консультационные, инженерные и ИТ-услуги, включая многодисциплинарные инженерные расчеты, разработку вертикальных CAE-приложений, автоматизацию расчетных методик и расчетных процессов, адаптацию и интеграцию ПО, развертывание и настройку высокопроиз-

водительных вычислительных ресурсов, а также предлагать собственные высокоэффективные программные продукты и комплексные услуги по созданию Цифровых двойников и цифровизации производства.

АО “Моделирование и цифровые двойники” обеспечивает предприятия эффективными решениями для проектирования, диагностики и прогноза состояния промышленного оборудования. Среди существующих разработок компании в этой области – Цифровой двойник парогазовой электростанции (ПГУ), цифровая модель химического производства, система распознавания деталей на производстве, а также Цифровые двойники нефтегазового оборудования (нефтепровода, установки промышленной переработки нефти) и оборудования для горно-добывающей и металлургической промышленности.

АО “МЦД” продолжит развивать свои собственные программные продукты – ServiceVizor для автоматизации бизнес-процессов сервисного обслуживания на основе Цифровых двойников и дополненной реальности, а также технологии оптимизации на базе Flypoint Parametrica для трехмерной параметрической оптимизации и специализированные вертикальные CAE-приложения.

В портфеле компании сохраняются хорошо зарекомендовавшие себя в России программные продукты для численного 1D/3D-моделирования зарубежных производителей и добавлены эффективные продукты российских разработчиков:

- ПО Flownex SE для системного 1D-моделирования и анализа сложных гидравлических систем;
- ПО Fidesys для решения широкого спектра задач механики деформируемого твердого тела;
- платформа rSeven для анализа данных, оптимизации и создания аппроксимационных моделей;
- программный комплекс “Универсальный механизм” для моделирования динамики и кинематики плоских и пространственных механических систем.

Несмотря на ряд ограничений со стороны поставщика программного обеспечения ANSYS, Inc. в отношении клиентов на территории РФ, АО “Моделирование и цифровые двойники” продолжит выполнять все свои обязательства по технической поддержке и сопровождению ПО Ansys, сохраняя доступ к клиентскому порталу и порталу дистанционного обучения. В то же время, АО “МЦД” приняла решение о содействии в развитии целого ряда отечественных программных про-

дуктов, с разработчиками которых подписаны соглашения о стратегическом партнерстве. Компания намерена предоставить для их развития свои знания и накопленный опыт взаимодействия с ведущими решениями Ansys для численного моделирования.

Одним из таких разработчиков является компания “Фидесис”. В рамках партнерства с ней АО “Моделирование и цифровые двойники” займется, в том числе, вопросами интеграции программных продуктов Ansys и Fidesys, прорабатывая совместно интерфейс для обмена данными и результатами численного моделирования, а также расширением функциональных возможностей ПО Fidesys. В дальнейшем АО “МЦД” намерена расширить спектр поддерживаемых решений программным обеспечением FlowVision и другими отечественными разработками.

“Наша миссия состоит в том, чтобы помочь российским компаниям в процессе постепенного перехода на отечественные продукты для инженерного численного моделирования, обеспечивая трансфер знаний и интеграцию лучших технологий и решений”, – комментирует Валерий Дмитриевич Локтев, генеральный директор АО “Моделирование и цифровые двойники”.