

Расчетная оценка траектории движения транспортного средства с учетом бокового ветра с помощью Adams-scFLOW

Сопряженное моделирование — прорыв в моделировании мультифизических процессов MSC Co-Simulation

Доктор Кит Ханна, вице-президент по маркетингу, MSC Software



В последние 20 лет или около того «святым граалем» компьютерных инженерных технологий (САПР) оставалось «мультифизическое моделирование», то есть одновременное моделирование физических процессов разных типов [1]. Несмотря на то, что мультифизика — это несколько некорректный термин, для нас, инженеров, он интуитивно понятен и говорит об инженерном моделировании реального мира. В реальном мире, в котором мы все живем, потоки жидкостей не существуют отдельно от конструктивных эффектов, от акустики или динамики, но тем не менее в течение многих лет инженеры моделировали эти подобласти физики как отдельные, изолированные друг от друга решения. Необходимо заметить, что мой преподаватель физики в высшей школе, м-р Коупленд, дал бы мне нагоняй за использование слова «мультифизика», потому что, строго говоря, это совершенно неправильный термин. На самом деле физика — это единая дисциплина, как и химия или биология. Внутри физики имеются различные субдисциплины, такие как ньютоновская механика, электродинамика и законы Максвелла, теория упругости и закон Гука, и также многое другое. Термин



Рисунок 1. Уникальные возможности сопряженного моделирования сложных процессов с помощью программных средств MSC

«мультифизика», появившийся в 90-х годах 20 века, как мне кажется, на самом деле отражает неудачу, которую компьютерные инженерные технологии потерпели при попытке одновременного решения фундаментальных физических уравнений. Отчасти это связано с практическими проблемами, с которыми мы сталкиваемся из-за использования различных математических методов. Например, метод конечных объемов (лучше всего подходит для жидкостей) и метод конечных элементов (лучше всего подходит для конструкций и акустики) означают, что для более эффективной сходимости решателя в реальных

инженерных задачах приходится выбирать один из них как основную методику. Разработчики программного обеспечения уделяли так много внимания решению проблемы мультифизики для создания удобных инструментов инженерного моделирования отчасти и из-за того, что чисто математические подходы не слишком хорошо сочетаются друг с другом, когда требуется их объединить.

Что мне больше всего понравилось в корпорации MSC Software, к которой я присоединился в начале этого года? Помимо ее более чем 50-летней истории, начинающейся с раннего проекта NASA,

Область сопряженного моделирования (мультифизика)	Используемые приложения	Объемы производства	Применение
Взаимодействие в границах раздела жидкостей-конструкциями (CFD)	Nastran / Marc + scFLOW/scSTREAM	Все	Эксплуатация вращающихся турбин, гидротурбин, компрессоров, вентиляторов, вращающихся вихреобразователей, турбулентная турбина, турбомашинностроительная промышленность...
Конструкции и акустика	Nastran / Marc + scFLOW + Actran	Все	Шум в салоне, воздушные двери, шум и вибрация...
Многомассовая динамика и сплошные среды	Adams + scFLOW	Все	Движение вращающихся частей двигателя транспортных средств, так как блок двигателя или через корпус трансмиссии...
Верхний уровень моделирования и динамика транспортных средств (HIL)	Adams + Vires VTD	Автомобильная промышленность	Автомобильные транспортные средства, выходы из АЗС системы, симулятор вращающейся автомобиля в реальном времени...
Малые части, взаимодействие с жидкостями и сплошными средами	Adams + EDEM, EDEM + scFLOW	Автомобильная промышленность, фармацевтика	Устойчивость автомобиля, фармацевтика, обработка сухих материалов...
Механические динамика и нелинейный анализ методом конечных элементов	Adams + Marc	Автомобильная промышленность	Прогибы и открытие дверей, спуск через выключенной нагрузки на транспортные средства (например, нагрузка на бортовой аккумулятор, деформация аккумулятора батареи)...
1D-системы, многомассовая динамика, системы управления	Adams + Easy5 / Matlab Simulink / Maplesoft / GT Suite etc.	Все	Максимальная работа, оптимальное оборудование, анализ работы, анализ АК транспортные средства, системы управления, устойчивость, интегрированная система...

Таблица 1. Обзор расчетных программных комплексов MSC Software для сопряженного моделирования

посвященного посадке на Луну, и стремления к точности программных решений, это еще и сильно недооцененная история борьбы за предоставление решений мирового класса в области сопряженного моделирования всем ее клиентам, а также инженерам во всем мире. Все, от акустики до динамики многомассовых систем (MBD), вычислительной гидро- и газовой динамики (CFD), анализа прочности конструкций, динамических задач, разрушений при аварии в явной постановке, — MSC может связать вместе что угодно (см. рис. 1). Я собрал множество приложений сопряженного моделирования мультифизики, которые сегодня можно выполнить с помощью программных средств MSC, как попарно, так и в виде цепочек из инструментов моделирования; несколько лет назад это показалось бы несбыточной мечтой (см. табл. 1).

Сопряженное моделирование на основе динамики многомассовых систем

Если копнуть чуть глубже, то можно обнаружить, что ведущий продукт на рынке динамики многомассовых систем (MBD), Adams, не только широко используется сегодня для промышленного сопряженного моделирования во всем мире, но и открыт для сопряжения с самыми разными видами коммерческого и открытого программного обеспечения (см. рис. 2). Среди важных недавних инноваций — сопряжение с ведущим программным средством моделирования методом дискретных элементов EDEM от компании DEM Solutions, как показано на рис. 3, с VIRES Virtual Test Drive (VTD) для моделирования ADAS систем и автономного управления транспортным средством (VIRES является частью MSC/Hexagon с 2017 г.) и разумеется, с MATLAB и SIMULINK для моделирования 0D/1D-систем и органов управления (от компании Math Works). Adams в сочетании с Marc может решать задачи моделирования перемещений щеток

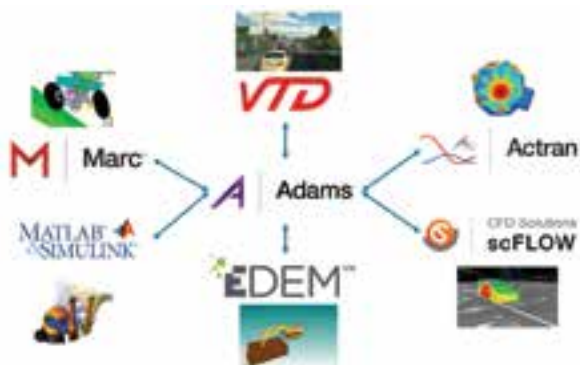


Рисунок 2. Функциональная экосистема сопряженного моделирования Adams от MSC

стеклоочистителей, гидравлических приводов, резиновых уплотнений дверей и полного моделирования транспортного средства. Ниже я более подробно расскажу о захватывающих новых возможностях сопряженного моделирования мультифизики, которые открываются для инженеров-расчетчиков благодаря приобретению в 2016 году корпорацией MSC Software компании Software Cradle, занимающейся программным обеспечением в области гидро-, газовой динамики и тепло-, массообмена. Очень сложное и интересное сопряженное моделирование динамики показано на рисунке 4, где с помощью цепочки инструментов scFLOW - Marc - MSC Nastran был промоделирован нелинейный изгиб и скручивание металлической заслонки в поперечном потоке.

Сопряженное моделирование на основе акустики

Программный комплекс Actran — признанный лидер

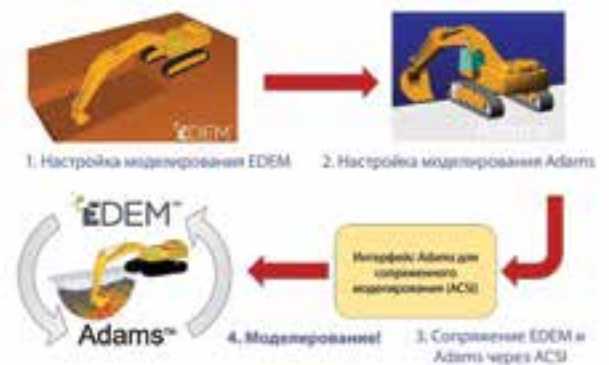


Рисунок 3. Сопряженное моделирование MBD с помощью Adams от MSC и EDEM от DEM Solutions

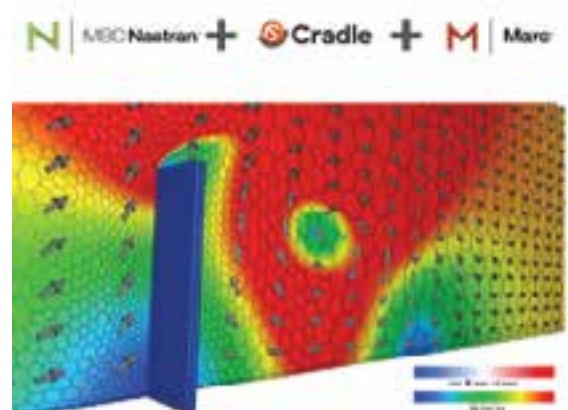


Рисунок 4. Сопряженное моделирование изгиба и скручивания заслонки в поперечном потоке с помощью цепочки MSC Nastran — scFLOW — Marc.

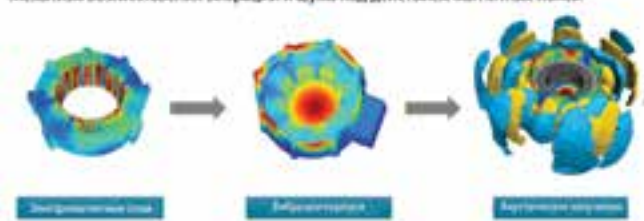


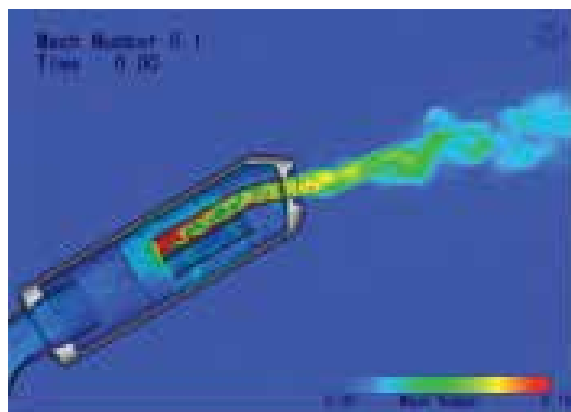
Рисунок 5. Цепочка инструментов для сопряженного моделирования традиционного автомобильного силового агрегата (MSC Nastran – Adams, слева) и для акустики электрического силового агрегата (E-Mag – MSC Nastran – Actran, справа).

на рынке акустического моделирования с двадцатилетней историей и авторитетной базой пользователей по всему миру. Actran имеет много акустических приложений с мультифизикой, например, классическое сопряжение с CFD для аэроакустического анализа. Сегодня Actran предоставляет полные сквозные решения от прогнозирования механической нагрузки до оценки шумов и вибраций. В недавнем вебинаре [2] было рассмотрено прогнозирование акустических характеристик электромобилей с помощью цепочек инструментов на основе Actran. На рис. 5 изображены две цепочки инструментов, которые были использованы в анализе сопряженного моделирования. Моделирование многомассовых систем с помощью Adams дает нагрузки на конструкции при работе традиционного силового агрегата, затем для анализа вибраций был использован MSC Nastran. И наконец, излучение звука рассчитывается с помощью Actran, с высокой точностью и полностью автоматически. Для сравнения, для электромобилей результаты электромагнитного моделирования с помощью различных сторонних программ (например, JMAG,

MagNet, Maxwell и пр.) могут быть интегрированы с инструментами MSC FEA для прогнозирования шума электродвигателя. При этом Actran дает точный прогноз шума как от электродвигателя, так и от коробки передач. И наконец, на рис. 6 изображено сравнительно недавнее сопряженное моделирование акустики и жидкостей с помощью Actran и scFLOW от Software Cradle, где с помощью CFD были промоделированы выхлопная система и глушитель, а прогноз акустического шума был получен с помощью Actran.

Сопряженное моделирование на основе CFD

Вычислительная газогидродинамика (CFD) уже давно стала моей страстью, поэтому очень интересно наблюдать за работой японской компании Software Cradle, подразделением MSC Cradle CFD, в области сопряженного моделирования. Эта компания создала удивительно надежную и открытую программную платформу для сопряженного моделирования (см. рис. 7). Разработки MSC Cradle CFD в области CFD – scFLOW (с использованием полиэдральных сеток),



Cradle



Actran

Рисунок 6. Сопряженное моделирование для прогнозирования аэроакустических свойств выхлопной системы и глушителя (CFD с помощью MSC Cradle, акустика с помощью Actran от MSC FFT)

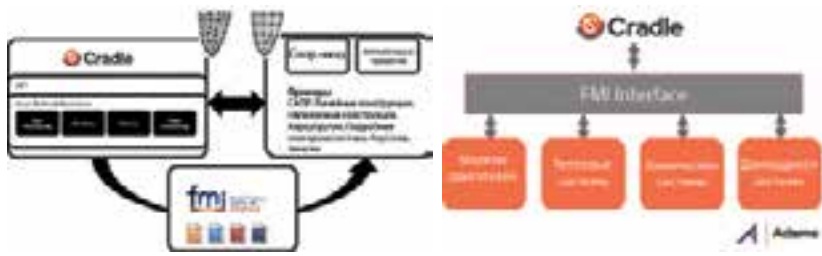


Рисунок 7. Открытая платформа возможностей сопряжения MSC Cradle CFD

scSTREAM (со структурированными гексаэдральными сетками) и SC/Tetra (с тетраэдрическими сетками) давно используются крупными поставщиками готовых изделий и ведущими японскими компаниями и имеют в своем активе множество успешных проектов. Благодаря своей скорости, точности и надежности они являются технологическими лидерами в использовании методов свободных поверхностей и пересекающихся сеток. Имеется возможность передавать физические величины между сторонними программами и программными средствами MSC — для этого предусмотрен специальный интерфейс FMI и программные инструменты MSC Co-Sim. Программные инструменты сопряжения поддерживают общие настройки физических величин, пользовательские функции и языки сценариев. В частности, вместе с Adams этот подход к сопряженному моделированию позволяет промоделировать большие потоки твердых частиц на свободных поверхностях (рис. 8), вибрации насосов с крыльчатками, барабанов стиральных машин, а в сочетании с многомассовой динамикой — удары топлива в стенки бензобака (рис. 9). Одно из на самом деле удивительных приложений MBD — это транспортное средство, движущееся через водную преграду, с учетом работы подвески, которую учитывает Adams, или динамика того же самого транспортного средства при боковом ветре (рис. 10). Сопряженное моделирование с Marc означает, что модули MSC Cradle CFD могут обрабатывать диафрагмы авиационных топливных баков, жидкостную закалку, гибкие пластины/мембраны/уплотнения клапанов (рис. 11) и центробежные вентиляторы. В сочетании с MSC Nastran программный комплекс scFLOW может, например, рассчитать взаимодействие на границе раздела жидкость-конструкция (FSI) для корабельного винта с учетом эффектов кавитации (см. рис. 12).

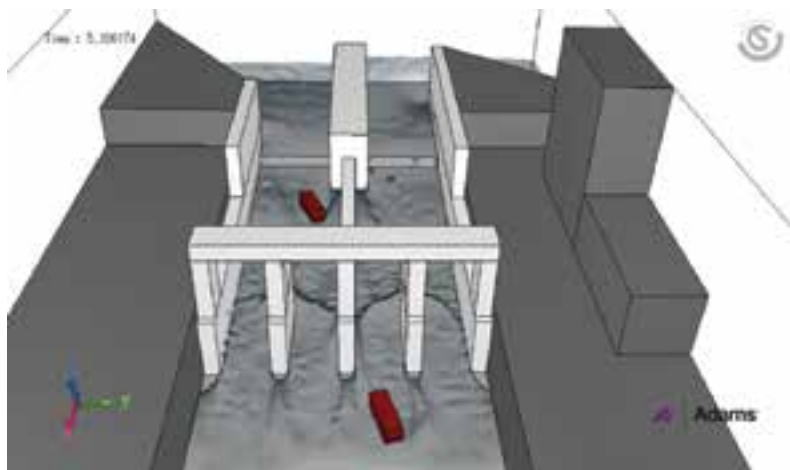


Рисунок 8. Прогноз поведения больших бревен в безнапорном потоке в канале с помощью Adams — scFLOW

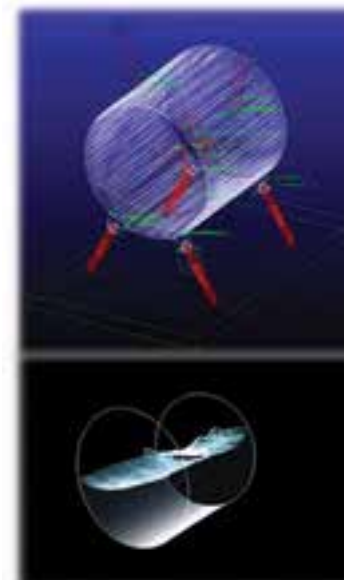


Рисунок 9. Прогноз динамических ударов жидкости о стенки бака с помощью Adams — scFLOW

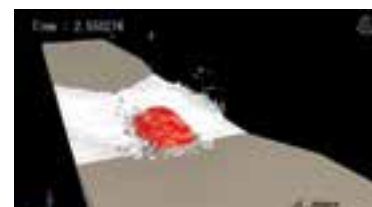


Рисунок 10. Прогноз динамического перемещения подвески при движении транспортного средства через водную преграду с помощью Adams — scFLOW

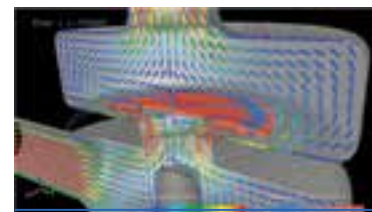


Рисунок 11. Анализ FSI для клапана с эластичной мембраной, деформирующейся под действием потока, с помощью Marc и scFLOW

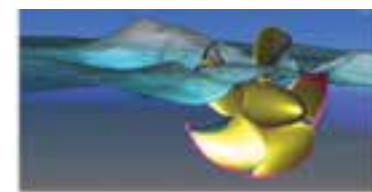


Рисунок 12. Прогноз FSI винта со свободной поверхностью и кавитацией с помощью MSC Nastran — scFLOW

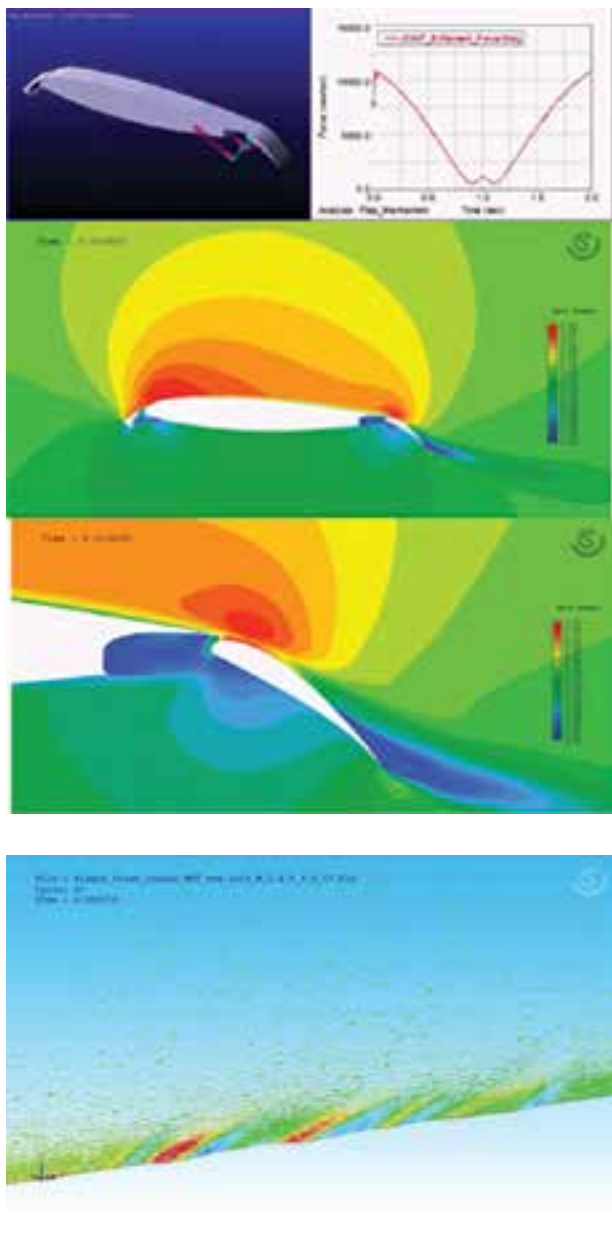


Рисунок 13. Динамический прогноз аэродинамических характеристик при выпуске закрылков с помощью Adams — scFLOW (вверху) и сопряженное моделирование скачков уплотнения для вибрирующей сверхзвуковой пластины в MSC Nastran – scFLOW CFD (внизу)

Это одно из тех интересных приложений CFD для сопряженного моделирования, которые больше всего привлекают внимание. Силами MSC Cradle CFD связаны Adams с scFLOW для анализа аэродинамических свойств крыла самолета при выпуске закрылков в динамике (см. рис. 13). Еще один впечатляющий результат нового сопряженного аэродинамического моделирования с помощью scFLOW и MSC Nastran / Marc — это нелинейный панельный флаттер сверхзвуковой пластины (3), при котором на высоких скоростях возникает очень необычная сопряженная волнообразная вибрация на поверхности плоской пластины, приводящая к возникновению движущихся скачков уплотнения на поверхности (рис. 13). Это исследование проводил мой коллега Фаусто Гилл Ди Винченцо в Италии, который использовал для эффективного и быстрого решения нашу бесшовную технологию сопряжения MSC Nastran — scFLOW CFD. Прогноз деформации доменов CFD был сделан с помощью функций движущихся сеток, а затем с помощью MSC Nastran и Marc был проведен анализ методом конечных элементов. Можно было использовать элементы CFD в виде тетраэдров, шестигранников или многогранников (полиэдральных элементов). Наконец, еще одной областью моих интересов является прогнозирование термомеханических напряжений для электронных компонентов на кристаллах и печатных платах. Такие приложения также достаточно сложно реализовать в виде сопряженных моделей в большинстве доступных на рынке средств моделирования. На рис. 14 показана модель навесного резистора на кристалле, который неоднократно нагревается и остывает по мере протекания через него электрического тока (4). В итоге в какой-то момент жизненного цикла это приведет к растрескиванию его паяных соединений и в конечном итоге — к отказу всего изделия. Поэтому очень важно иметь возможность заранее предсказать это событие и обнаружить места с высокими механическими напряжениями. Прогнозы распределения температуры от scSTREAM были отображены на сетку решателя конструкционного анализа (например, MSC Nastran и др.). Затем было спрогнозировано механическое напряжение на паяном соединении. Это очень мощный способ прогнозирования механизмов отказа и их вероятного расположения в бытовой электронике, и его довольно просто реализовать в scSTREAM с помощью совместного моделирования.

Выводы

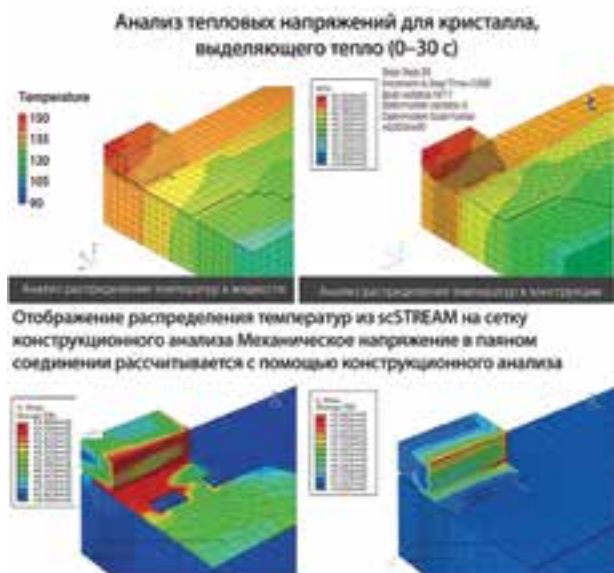


Рисунок 14. Прогнозирование термомеханических напряжений в системе scSTREAM для механических напряжений в паяных соединениях электронных компонентов.

К классическим проблемам «мультифизики» для инженерного программного обеспечения относятся взаимодействие жидкостей и конструкций (FSI, VIV — вибрация, вызванная вихреобразованием), конструкции и акустика, конструкции и динамика, а также жидкости и динамика. Принцип моделирования мультифизики может показаться простым, однако многие коммерческие разработчики инженерного ПО в течение десятилетий предоставляли точечные решения, но так и не смогли реализовать рабочие сопряженные решения для промышленных инженерных приложений (как свободные, так и тесно связанные приложения САПР). Поэтому даже спустя 40–50 лет точечного моделирования во всех субдисциплинах физики «мультифизика» по-прежнему остается для САПР

неким «Святым Граалем». Корпорация MSC Software справилась с этой практически нерешаемой задачей и предложила множество практических решений и цепочек инструментов для реальных инженерных приложений. Я настоятельно рекомендую вам изучить наши предложения и использовать возможности системы лицензирования, чтобы попробовать их все в деле. Если вам нужна дополнительная информация, то обратитесь к своему местному представителю MSC по работе с клиентами или к инженеру технической поддержки. Мы предлагаем не только технологии, но и профессиональные услуги, которые помогут вам решить проблемы сопряженного моделирования конкретно для вашей отрасли.

Литература

1. “Back to the Future; Trends in Commercial CFD”, J. Parry & K. Hanna, NAFEMS World Congress, Бостон, США, 2011: http://s3.mentor.com/public_documents/whitepaper/resources/mentorpaper_90428.pdf
2. “Noise Prediction for Electric Powertrain” вебинар, R. Baudson и Y. Fan, август 2018: http://www.mscsoftware.com/events_assets/Webcasts/2018_Webinars/noise-prediction-for-electric-vehicle-powertrain.html
3. “An Efficient Fluid Structural Workflow using the Seamless Coupling Technology” вебинар, август 2018: http://www.mscsoftware.com/events_assets/Webcasts/2018_Webinars/an-efficient-fluid-structural-workflow-using-the-seamless-coupling-technology-within-msc-nastran-marc-and-sc-tetra.html
4. “Predicting Durability of Junctions for Mounted Parts” Cradle CFD Case Study: https://www.cradle-cfd.com/images/applications/electronics/11ST_MountedPartsDurability_email

