

## **ТЕМА 4.1. КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ, ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Автор: директор МНОЦП «Altair – CML – Политехник» СПбПУ Белослудцев Е.В.

Цифровое проектирование и моделирование - это одна из 10 ключевых технологий IV промышленной революции. Этот класс технологий соответствует мегатренду цифровизации и развитию информационных технологий.

На заседании рабочей группы Shaping the Future of Production in Russia международного экономического форума в ноябре 2017 года в Женеве другими девятью технологиями были названы в том числе и те, о которых ранее уже рассказывалось в лекциях:

- высокопроизводительные вычисления,
- аддитивные технологии (3D-печать),
- новые материалы.

Цифровое проектирование и моделирование отмечают как ключевой фактор конкурентоспособности руководители и компаний-лидеров в России (по материалам рейтинга ТехУспех): цифровое проектирование и моделирование стоит на первом месте среди 6 перспективных направлений, которые обеспечивают конкурентоспособность компаний.

Что такое компьютерное проектирование, компьютерный инжиниринг и цифровое проектирование и моделирование?

Компьютерное проектирование - это процесс разработки 3D-моделей в CAD системах, то есть в системах, которые позволяют создавать чертежи, оформлять конструкторскую или технологическую документацию. Примерами таких систем являются системы CATIA, SolidWorks, Siemens NX, Autodesk, Компас 3D. Компьютерное проектирование – это первый уровень в цифровом проектировании и моделировании.

Следующим уровнем является компьютерный инжиниринг - это совокупность методов и средств для моделирования на основе соответствующего программного обеспечения.

Такое программное обеспечение называется CAE-системами (Computer-Aided Engineering).

Если компьютерное проектирование в CAD-системах позволяет только нарисовать геометрию изделий и подготовить конструкторскую документацию для производства, то компьютерный инжиниринг позволяет провести моделирование поведения конструкций, машин, физико-механических и технологических процессов.

Для примера возьмем автомобиль. Если необходимо, например, только нарисовать трехмерную модель капота автомобиля, то используются CAD системы. Если же необходимо

рассчитать, выдержит ли капот нагрузку от снега, нагрузку от поставленных на него сумок, оценить уровень вибраций от потока воздуха или просчитать деформации при авариях – тогда применяются CAE-системы, т.е. системы компьютерного инжиниринга.

Термин «цифровое проектирование и моделирование» включает в себя уже упоминавшееся компьютерное проектирование, компьютерный инжиниринг и другие технологии, такие как:

- высокопроизводительные вычисления, в т.ч. на суперкомпьютерах (HPC),
- технологическая подготовка производства – подготовка управляющих программ для станков (CAM),
- управление данными о продукте (PDM),
- управление жизненным циклом изделий (PLM).

Ключевое отличие традиционного производства от передового заключается в смещении акцента на этап проектирования и создание таких высоко адекватных математических моделей («цифровых двойников»), которые позволяют перейти к серийному производству со значительно меньшим числом натурных испытаний (или вообще без них), чем при традиционном производстве.

Примером отрасли-лидера по выводу продуктов на рынок (т.е. по показателю «Time-to-Market») является автомобилестроение. За 50 лет произошло снижение срока вывода автомобилей на рынок с 7 до 1,5 лет, при том что в гражданском авиастроении аналогичный срок увеличился с 3 до 7,5 лет, а в вооруженных силах - с 5 до 27 лет.

Это связано, в том числе, с высокой конкуренцией среди автопроизводителей и возможностью каждого производителя купить, разобрать и тщательно проанализировать новый автомобиль конкурентам в течение первого месяца, как только новый автомобиль появился на рынке.

На сегодняшний день в автомобилестроении достигается погрешность не более 5% по всем показателям, которые можно измерить при натурных испытаниях. В частности, при краш-тестах сравниваются показатели 300 датчиков, установленных на автомобиле, со значениями, полученными при виртуальном (цифровом) испытании (моделировании). Указанная погрешность моделирования сохраняется при высокоскоростных нелинейных деформациях, расчеты которых являются одной из сложнейших задач механики. Более того, некоторые автопроизводители, в случае, когда не применялись новые материалы и новые технологии, получают точность виртуальных испытаний  $\pm 2\%$ . При таких высоких показателях точности моделирования и при выполнении нескольких дополнительных условий автомобиль может пройти сертификацию без натурных испытаний – именно это и называют «цифровой сертификацией».

Для достижения высокой точности проектирования необходимо применять высокоадекватные математические модели материалов и изделий и проводить виртуальные испытания для гарантированного выполнения всех требований, предъявляемых к продукту. Ниже приведены некоторые числа в автомобилестроении.

- Материалы. Изделие может включать более 200 материалов, по каждому материалу может быть более 10 кривых деформирования в зависимости от скорости деформации, более 10 свойств материалов и до 7 критериев разрушения с моделями повреждаемости.

- Технологии изготовления. На этапе компьютерного инжиниринга проводится итеративное моделирование, во время которого одновременно формируется геометрия изделия, проверяется соответствие всем нагрузкам и другим требованиям, а также проверяется возможность произвести каждую конкретную деталь, т.е. проводится виртуальная технологическая подготовка производства и непосредственно виртуальное изготовление изделия (моделирование штамповки, литья, фрезерования и т.п.). Пример: разработка капота автомобиля с такой внутренней структурой, которую гарантированно возможно отштамповать на оборудовании конкретного автомобильного завода заказчика.

- Для виртуальных испытаний могут использоваться до 12 виртуальных манекенов, более 10 000 датчиков, более 20 барьеров, более 20 систем ударников.

- Учитываются и контролируются достижение по каждому из более 100 000 целевых показателей и ограничений, учитываются более 200 мировых стандартов и требований к автомобилю.

Высокоадекватные математические модели, позволяющие достигать точности моделирования  $\pm 5\%$  и выше называются «цифровыми двойниками» (Digital Twin) и являются основой цифрового проектирования и моделирования. Как уже отмечалось ранее, цифровые двойники создаются и для изделий, и для производственных процессов. Рынок цифровых двойников в данный момент формируется, поэтому каждая из компаний-лидеров использует свою трактовку, однако общая суть сохраняется.

Возможности цифрового проектирования и моделирования позволили в автомобилестроении за 10 лет – с 2007 по 2017 год – уменьшить в 20 раз (с 100 до 5) среднее число натурных испытаний благодаря 100-кратному росту числа виртуальных испытаний (с 100 до 10 000). Для достижения таких результатов потребовалась дигитализация («оцифровка») всех изделий и процессов – эта программа «Разработка 4.0» (Entwicklung 4.0) стала основой, базой для более известной программы «Индустрия 4.0» (Industry 4.0).

Значительное снижение числа натурных испытаний позволяет снижать расходы на разработку продуктов и снижать срок вывода новых продуктов на рынок.

Цифровой двойник изделия позволяет проводить и предиктивный анализ ресурса, т.е. снижать затраты на ремонт, проводя необходимое обслуживание заранее и не доводя до серьезного ремонта. Примером может быть анализ ресурса самолетов («бортов»). На двух действующих бортах установлены датчики (health monitoring system), которые передают показания в цифровые двойники обоих бортов. В программах компьютерного инжиниринга на виртуальных испытательных полигонах проводится моделирование функционирования бортов непосредственно с учетом тех реальных нагрузок, которые фиксируют датчики. Это позволяет обнаруживать начало возникновения дефектов и деформаций, например, в композитных крыльях, до того, как они станут визуально заметны обслуживающему персоналу. Соответственно, обслуживание или ремонт будет подготовлен и проведен заранее, повышая безопасность полетов, снижая затраты на срочные замены и без штрафов от эксплуатирующей компании за внеплановый простой самолетов.

Учитывая вышесказанное, цифровое проектирование и моделирование являются ключевой технологией для быстрого создания глобально конкурентоспособной продукции нового поколения.