



Источник: FORD MEDIA CENTER



**КУЗЬМА КУКУШКИН**,  
аналитик отдела технологического  
и промышленного форсайта  
Инжинирингового центра «Центр  
компьютерного инжиниринга» СПбПУ

## Автомобиль как идеальный полигон разработки и испытаний передовых производственных технологий

Когда в начале XX века родоначальник промышленного автомобилестроения Генри Форд основал Ford Motor Company, он заявил: «Я намерен построить автомобиль для широкого употребления. Он будет достаточно велик, чтобы в нем поместилась целая семья, но и достаточно мал, чтобы им мог управлять один человек. Он будет сделан из наилучшего материала, построен первоклассными рабочими силами и сконструирован по

самым простым методам, какие только возможны в современной технике. Несмотря на это, цена будет такая низкая, что всякий человек, получающий приличное содержание, сможет приобрести себе автомобиль, чтобы наслаждаться со своей семьей отдыхом на вольном, чистом воздухе».

В этом кредо Генри Форд заключил послания сразу двум сторонам рыночных отношений: и производителям, и покупателям. Покупатель

должен был получить универсальный, качественный и недорогой автомобиль, а производитель был сориентирован на «наилучшие» материалы, «первоклассную» рабочую силу и оптимизацию производства.

Спустя 100 лет эта декларация, казалось бы, не потеряла своего значения для автомобильного рынка. Но только на первый взгляд. Современный рынок автомобилестроения имеет два принципиальных отличия.

Первое отличие заключается в том, что автомобилестроительная отрасль сегодня – основной драйвер развития передовых производственных технологий, которые с каждым днем становятся все более наукоемкими, ресурсоемкими, требующими уникальных мультидисциплинарных компетенций на всех этапах производства и послепродажного обслуживания. В этом смысле штаты автомобильных заводов, конструкторских бюро и инженеринговых центров действительно не могут не комплектоваться «первоклассными» системными инженерами, каждый из которых может объединять в одном лице традиционных инженеров-конструкторов, технологов, материаловедов, расчетчиков, даже в какой-то степени маркетологов и программистов. Подобных специалистов по умолчанию не может быть много (по крайней мере – пока), что делает конкуренцию в отрасли особенно острой.

Второе отличие заключено в том обстоятельстве, которое Генри Форд понимал как неоспоримое преимущество своего автомобиля: его универсальность, пользовательская «усредненность». Примененный Фордом конвейерный принцип производства позволял выпускать универсальные и недорогие автомобили для среднего класса, причем выпускать быстро. С последним обстоятельством связана еще одна известная крылатая фраза Генри Форда: «Автомобиль может быть любого цвета, если этот цвет – черный» (черная краска была дешевле других и быстрее сохла). Однако сегодня Ford Model T (на фото, первый серийный автомобиль Ford, общий тираж которого за 1908–1927 гг. составил 15 млн машин) – соответствующий, конечно, современным автомобильным стандартам – вряд ли пользовался бы сопоставимым успехом.

Причина в том, что в терминах классической экономики нынешний рынок формируется не от предложения (когда потенциальному покупателю предлагается выбрать из ряда имеющихся на рынке решений), а от спроса (когда клиент транслирует рынку требования к товару/услуге, на основе которых поставщики готовят решения). Один и тот же автомобиль одному покупателю покажется слишком громоздким, другому – слишком тесным, одному чересчур тяжелым, другому – недостаточно основательным. Для одного критически важен комфорт, для другого – максимальная скорость, для третьего – цена...

Иначе говоря, лучший автомобиль – тот, который сделан специально для вас и отвечает всем вашим уникальным требованиям.

Возможно ли это? Возможна ли глубокая индивидуализация автомобиля, в котором один только двигатель может состоять более



Двигатель LS9 производства General Motors в полуразобранном состоянии

чем из 5000 деталей? Можно ли представить себе конвейер на высокотехнологичном производстве, где каждое второе (а то и каждое первое) изделие – уникально?

Подобный конвейер представить трудно. Однако рынок решил не отказываться от индивидуализации продукции. Рынок решил отказаться от конвейера. А индивидуализация (кастомизация) товаров и услуг во всем мире становится не просто трендом, а необходимым условием существования на конкурентном рынке.

Передовые производства переходят от конвейеров к гибким роботизированным ячейкам. Все активнее применяются технологии 3D-принтинга, позволяющие не только сокращать число комплектующих, но и производить изделия таких форм, какие невозможно создать при использовании традиционных технологий (штамповки, литья и проч.). Долгосрочные договоры на поставки стандартного перечня комплектующих заменяют сети сертифицированных поставщиков, распределенных по всему миру.

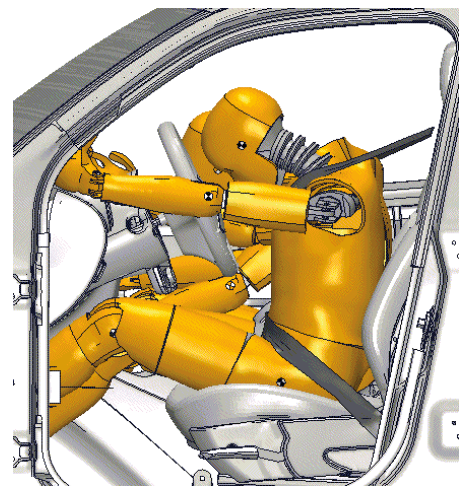
При этом один из ключевых критериев рыночного успеха – время отклика на запрос покупателя – со времен Форда своей значимости не потерял. По этой причине автопроизводителям нужна очень быстрая, адекватная потребителю запросу разработка и максимально оптимизированное высокотехнологичное производство. А на выходе должно быть кастомизированное, глобально конкурентоспособное (best-in-class) изделие нового поколения.

Все это требует принципиально новых инструментов, технологий и компетенций.

А подчас – технологического чуда, рецепт которого лежит за гранью интуиции и опыта самого выдающегося генерального конструктора.

Промышленность переходит к бизнес-модели **Цифровых фабрик** – в русле концепции цифровой экономики и IV промышленной революции. Ключевым центром компетенций и основным полем конкуренции в автомобилестроении стало цифровое проектирование и моделирование – от стадии исследования и планирования, когда закладываются базовые принципы изделия, и заканчивая созданием «умных цифровых двойников» (Smart Digital Twins) объектов и производственных процессов с высочайшим уровнем адекватности реальным изделиям и процессам.

Длительные и дорогостоящие натурные тесты заменяются виртуальными полигонами, и в случае корректных вычислений (а степень их адекватности напрямую зависит от уровня компетенций исполнителя) финальное натур-



ное испытание перед изготовлением итогового изделия лишь подтверждает результаты цифрового моделирования.

Конкуренция на сегодняшнем высокотехнологичном рынке интересна еще и тем, что сочетание компетенций мирового уровня, сформированных уникальных цепочек технологий, научных разработок и незаурядных бизнес-процессов могут порождать такие синергетические эффекты, предсказать которые будет просто невозможно.

Ежегодно самые известные автомобильные шоу размещают на своих площадках всё новые концепт-кары: одни демонстрируют оптимизированную форму кузова (повышение аэродинамических свойств), другие – использование композиционных материалов (снижение веса при сохранении прочностных характеристик), третьи – радикальное упрощение кузовной базы (снижение стоимости), четвертые – печать компонентов на 3D-принтере (сокращение числа деталей, оперативная кастомизация)...

Все указанные разработки не только хорошо известны российскому высокотехнологичному сообществу, но и не первый год успешно применяются некоторыми компаниями-лидерами – в том числе на глобальном рынке. Да, таких игроков в российском контексте еще слишком мало, но ситуация начинает меняться.

Показательно, что позитивные перемены во многом идут из научно-исследовательской и образовательной среды. В частности, заметным центром компетенций в области высокотехнологичных производств является **Санкт-Петербургский политехнический университет** и его **Инжиниринговый центр (CompMechLab®)** – признанный лидер в сфере разработок оригинальных технологий, конструкций, оборудования и продуктов на основе цифрового проектирования и моделирования, компьютерного и суперкомпьютерного инжиниринга, компьютерных технологий оптимизации и аддитивных технологий и др.

В конце 2016 года стартовал инициативный проект Инжинирингового центра (CompMechLab®) Санкт-Петербургского политехнического университета – электрический концепт-кар **CML CAR**, призванный продемонстрировать уровень компетенций российских инженеров в области разработки и применения передовых производственных технологий.

В рекордные для отрасли сроки – в течение 1 года – электрокар-демонстратор был подготовлен к производству и вместил в себя наглядные результаты применения всех ключевых технологий, с которыми связывают технологическое будущее России и мира: цифровое проектирование и моделирование,



Прототип платформы e.GO Life немецкой компании e.GO. Источник: e.GO



Концепт кузова EDAG Light Cocoon: бионический дизайн + тканевые материалы. Источник: EDAG

разработка «цифровых двойников» изделий и производственных процессов (производство в рамках концепции Фабрик Будущего), бионический дизайн, аддитивные технологии, разработка и применение новых материалов, в том числе композиционных, платформенные решения.

Последнее требует особого пояснения. По словам генерального конструктора, первого заместителя директора Инжинирингового центра CompMechLab® СПбПУ **Олега Клявина**, этот автомобиль-демонстратор будет некоторое время экспонироваться на различных выставках именно в таком непривычном виде:



Концепт электромобиля CML CAR. Источник: ГК CompMechLab®

«Этот концепт-кар – не столько автомобильная «база» в привычном понимании этого слова, сколько **платформа кросс-отраслевых, «сквозных», производственных технологий**, которая может быть применена в любой отрасли; в данном случае – в автомобилестроении. Это полностью готовый к серийному производству и эксплуатации автомобиль. Ему можно придать любой облик из числа подготовленных нами. Но нам важнее показать «изнанку», не закрывая ее привлекательным стилем».

К слову, **стилевых решений** концепт-кара разработчиками подготовлено сразу несколько – и настолько разнообразных, что при взгляде на фото не сразу становится понятно: всё это по сути – один и тот же автомобиль.

Однако куда важнее, что у этого концепта внутри. А там много интересного.

В первую очередь, в разработанном автомобиле-демонстраторе заключено несколько значимых пользовательских рекордов: по массе автомобиля, аэродинамическим характеристикам, конструкции подвески шасси и некоторым другим характеристикам.

Вот лишь несколько примеров.

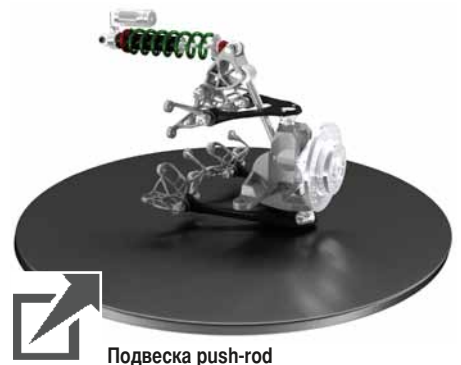
**Задняя подвеска push-rod** – конструкция, снижающая центр тяжести и обеспечивающая лучшую устойчивость автомобиля. Состоит из карбоновых рычагов, титановых печатных кронштейнов крепления подвески на кузов, титанового ровера, а также койловеров, изго-

товленных с заданными характеристиками жесткости и демпфирования, позволяющими добиться мирового уровня показателей в области управляемости и комфорта при вождении автомобиля.

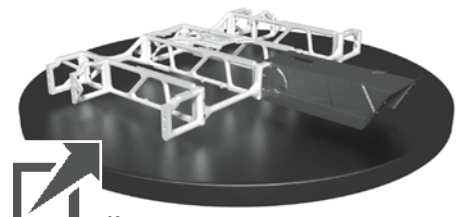
Конструкция **среднего пола** получена методом топологической оптимизации. Состоит из литых алюминиевых пространственных деталей и карбонового тоннеля. Алюминиевый пол позволяет добиться высоких жесткостных характеристик кузова при невысокой массе, а карбоновая деталь тоннеля обладает локально разнесенным сечением, что позволяет при добавлении 10% массы повысить жесткостные характеристики детали более чем на 20%.

**Crash-box (краш-бокс)** – устройство, поглощающее энергию при ударе автомобиля. Назначение этой конструкции, устанавливаемой между бампером и каркасом кузова автомобиля, в снижении затрат на ремонт при столкновении на низкой скорости. Краш-бокс CML CAR изготовлен из 3D-печатного алюминия в стиле lattice-structure (ячеистые конструкции), обладает высоким энергопоглощением при минимальных габаритах.

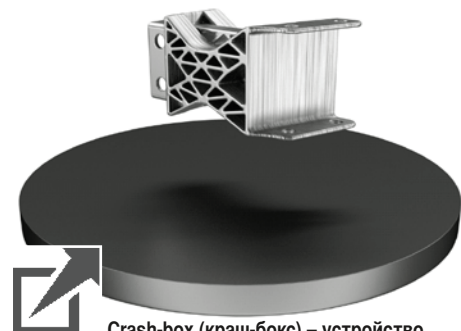
Наконец, отдельного внимания заслуживает инструментарий, использованный при цифровом проектировании и моделировании CML CAR, а также его виртуальных испытаниях, – особенно в связи с тезисом Генри Форда



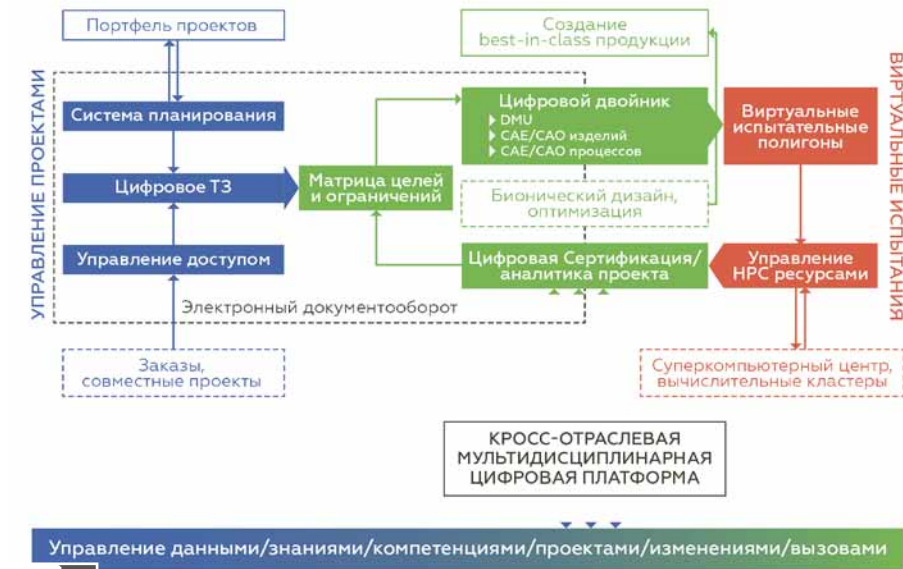
Подвеска push-rod



Конструкция среднего пола



Crash-box (краш-бокс) – устройство, поглощающее энергию при ударе автомобиля



**Функционал CML-Цифровой платформы CML-Bench™. Источник: Инжиниринговый центр CompMechLab® СПбПУ**

о «самых простых технических методах» производства.

Современный автомобиль должен удовлетворять огромному числу целевых показателей (включая потребительские качества) и требованиям активной и пассивной безопасности, аэродинамики, технологичности и т.д. Наиболее полной и сложной оценкой качества и безопасности автомобиля является натурный краш-тест. При этом натурные испытания очень дороги, и способом минимизировать издержки и сократить время выхода товара на рынок является проведение виртуальных испытаний. У лидеров мирового автомобилестроения произошло радикальное изменение соотношения числа натуральных и виртуальных испытаний: в 2007 году – 100 к 100, а в 2017 году – уже 5 к 30 000.

Виртуальный краш-тест – мультидисциплинарная задача, в решении которой актуальны практически все науки – от материаловедения до технологии изготовления – и, конечно же, все процессы, связанные с аэродинамикой, вибрациями, динамикой, прочностью и усталостью, все типы нелинейностей (геометрические, физические, контактные взаимодействия, локальные разрушения) и т.д. В кузове автомобиля применяется более 200 различных материалов: металлы, сплавы, полимеры, композиционные материалы, метаматериалы. Для корректного описания физико-механических процессов, проходящих в конструкции при различных воздействиях, для каждого материала необходимо знать обширный набор параметров и характеристик, учитывать технологии изготовления элементов, типы сопряжения элементов конструкции между собой и т.д.

Краш-тест – быстропротекающий динамический процесс, его длительность порядка 200–250 мс. При этом общее количество шагов интегрирования достигает более 200 000. Вся эта информация образует большие данные (Smart Big Data) «на входе» (более  $2 \cdot 10^{12}$  параметров) «умной» цифровой модели. Проведенные виртуальные испытания дополняют «на выходе»: при суперкомпьютерном моделировании процесса длительностью 200 мс на выходе получается массив данных, содержащий более  $10^{14}$  параметров.

Генри Форд был бы, как минимум, удивлен, узнав, что спустя 100 лет после выпуска первого конвейерного автомобиля большая часть разработок и испытаний авто будет осуществляться виртуально, а описание поведения «умной» цифровой модели best-in-class автомобиля будет состоять из  $5 \cdot 10^8$  кривых.

Конечно, подобные инструменты разработки имеют мало общего с «самыми простыми методами» конструирования, но даже для современного автомобилестроения CML CAR – явление уникальное. Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования, посредством которых был создан автомобиль-демонстратор CML CAR, имеет мало общего с простой 3D-геометрической моделью и кинематическими расчетами, которые в основном и представлены в промышленности и с которыми зачастую (неверно) ассоциируется цифровое проектирование и моделирование.

В Инжиниринговом центре (CompMechLab®) СПбПУ весь процесс цифрового проектирования и моделирования, включая формирование многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений, разработку «умных» моделей, выполнение десятков тысяч

виртуальных испытаний, создание цифровых двойников выполняется на основе специально разработанной CML-Цифровой платформы CML-Bench™. Эта уникальная платформа автоматизирует процесс на основе лучших передовых технологий мирового уровня, общая трудоемкость разработки которых превышает 1 миллион человеко-лет.

CML-Цифровая платформа CML-Bench™ по сути – это инструмент генерации Цифровых фабрик в высокотехнологичных отраслях промышленности, обеспечивающий управление проектами, связанными с цифровым проектированием, моделированием, виртуальными испытаниями и подготовкой конструкторской документации. В июле 2017 года за эту разработку ООО «Лаборатория «Вычислительная механика» – стратегическому партнеру СПбПУ была присуждена Национальная промышленная премия Российской Федерации «Индустрия», которую называют «промышленным Оскаром».

Ожидается, что автомобиль-демонстратор CML CAR будет активно экспонироваться на различных профильных выставках и форумах в течение всего 2018 года, после чего его место займет какой-то другой экспонат – возможно, даже относящийся к другой отрасли. Однако пока что именно автомобилестроение является самым активным генератором ключевых передовых производственных технологий, поэтому его появление закономерно и, возможно, вызовет очередной технологический «всплеск» на рынке.

В декабре 2017 года по итогам всероссийского конкурса в Санкт-Петербурге был организован Центр Национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии» на базе Института передовых производственных технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (ИППТ СПбПУ). Его задача – разработка «сквозных технологий» (т.е. приложимых в любой отрасли), развитие и применение которых позволит повысить глобальную конкурентоспособность высокотехнологичных российских компаний.

Для реализации задач Центра НТИ СПбПУ собран консорциум из 35 участников – университетов, крупных промышленных высокотехнологичных предприятий, наукоёмких инновационных компаний и институтов развития, – а также привлечены более 25 компаний-партнеров. Задачей Центра, чьим флагманским демонстрационным проектом и является сегодня CML CAR, заявлена работа с высокотехнологичной российской промышленностью, а также увеличение ее экспортного потенциала – выход на глобальные рынки.

Что ж, при взгляде на концепт электрокара CML CAR задача кажется вполне достижимой.

