ЛЕКЦИЯ 3.1 СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕНДЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ, ВЕДУЩИЕ К СОЗДАНИЮ ФАБРИК БУДУЩЕГО

Авторы: начальник отдела технологического и промышленного форсайта ИЦ «ЦКИ» СПбПУ, к.полит.н. Рябов Ю.А.,

специалист отдела технологического и промышленного форсайта ИЦ «ЦКИ» СПбПУ Марусева В.М.

Постоянный рост требований к качеству и характеристикам конечной продукции, а также процесс глобализации ужесточают конкуренцию. Совершенствование технологий приводит к тому, что технологические процессы на промышленных производствах и конечная продукция становятся все сложнее и разнообразнее. Повышается спрос на максимальный учет индивидуальных требований заказчика. Возникает необходимость массовой кастомизации и даже персонализации продукции, когда изделие изготавливается под конкретного заказчика. Однако при этом конкуренция требует выводить продукты на рынок все быстрее, а это, в свою очередь, требует ускорения производственных процессов.

Цифровая модель развития предполагает не только тотальную цифровую трансформацию экономики в «цифровую экономику» и высокотехнологичной промышленности в «цифровую промышленность», но и учет триады требований современных глобальных рынков, связанных с сокращением времени принятия решений (Time-to-Decision, T2D), значительным сокращением времени выполнения/реализации проектов (Time-to-Execution, T2E) и значительным сокращением времени вывода продукции на рынок (Time-to-Market, T2M), где под рынком, понимается, глобальный рынок.

Цифровые технологии позволяют ответить на многие вызовы, поэтому они все глубже проникают все области, связанные производством, особенно во С высокотехнологичным. «Центр тяжести» в мировой конкуренции смещается на этап проектирования, важность которого значительно возрастает. Для наиболее полного учета всех факторов, влияющих на продукт в процессе его создания и при последующей эксплуатации, создаются цифровые двойники высокотехнологичных продуктов производственных процессов.

Модели производства развиваются по спирали. Сначала от индивидуального ручного производства произошел переход к массовому машинному, которое стало возможным после внедрения конвейера. Следующим шагом становится массовая кастомизация, когда в рамках массового производства возможно изготовление большого количества вариаций одного продукта для максимального учета индивидуальных требований заказчика. Например: различных вариантов дизайна, наличия каких-то дополнительных функций и т.д.

Следующий этап предполагает переход обратно к индивидуальному изготовлению. При этом главными инструментами будут выступать цифровое проектирование и моделирование, а также аддитивные технологии, дающие возможность получить полностью персонализированный продукт. Большие перспективы у мейкерства, когда люди сами смогут изготавливать то, что им необходимо. Этому способствует повышение доступности 3D-принтеров, совершенствование технологий 3D-печати и большой выбор материалов с самыми разными характеристиками. Непосредственно на производственных площадках ключевую роль будут играть гибкое производство и интернет вещей. В будущем, возможно, люди сами смогут с помощью интернета отправлять свои запросы на предприятие и взаимодействовать напрямую с производителем.

За последние несколько лет производство и продукция стали значительно сложнее: возросло число механических и электронных компонентов, число строк программного кода. В результате проявились некоторые негативные тенденции — увеличение продолжительности и стоимости разработок, потеря качества изделий, снижение прибыли компаний-разработчиков, а в некоторых случаях — и репутационный ущерб.

По данным опроса, проведенного специалистами аналитического агентства Aberdeen Group и включавшего более 550 респондентов — компаний-мировых лидеров из различных отраслей промышленности, за последние несколько лет производимая продукция стала значительно сложнее: возросло число механических и электронных компонентов, число строк программного кода, в результате чего проявились некоторые негативные тенденции, связанные с увеличением продолжительности и стоимости разработок и исследований, потерей качества изделий и, как следствие, снижением прибыли компаний-разработчиков, а в некоторых случаях — и репутационным ущербом.

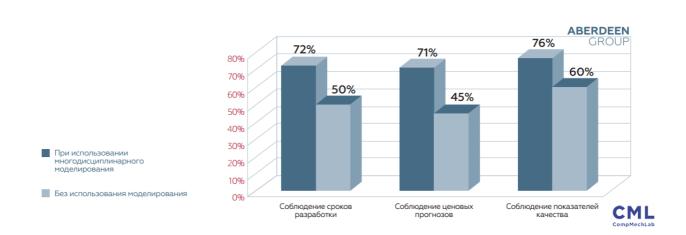
Рисунок 1. Рисунок 2. Слева: рост сложности разработок в 2015–2017 гг., справа: негативные тенденции, характерные для разработки новых продуктов в 2015–2017 гг.





В сложившейся ситуации требуется кардинальное изменение подхода к проектированию, что возможно благодаря применению технологий математического и численного моделирования. Использование данных технологий, начиная с самых ранних этапов, дает существенные преимущества для соблюдения трех основных критериев успешности исследований и разработок: сроков, стоимости и качества.

Рисунок 2. Рисунок 3. Бизнес-преимущества применения многодисциплинарного моделирования



Системы управления и контроля тоже усложняются и становятся более комплексными: согласно закону необходимого разнообразия Уильяма Эшби, невозможно управлять сложными процессами при помощи простой системы.

Проблема роста сложности производственных технологий и продуктов наиболее актуальна для высокотехнологичных направлений: автомобилестроения, аэрокосмической отрасли, производства высокотехнологичной электроники и промышленного оборудования. По данным исследования консалтинговой компании А.Т. Кеагпеу, немецкие предприятия при уменьшении сложности производства могли бы экономить до 30 млрд долл. ежегодно, а их операционная прибыль могла бы быть на 3-5% выше.

Решить проблему сложности при помощи традиционных технологий вряд ли возможно. Необходимы новый подход к изготовлению материалов, автоматизация, интеллектуализация и цифровизация производства, а также переход к «системной инженерии», то есть планированию не отдельных операций, а сразу всего жизненного цикла продукта, начиная от проектирования и заканчивая утилизацией.

Одним из таких решений являются Цифровые, «Умные» и Виртуальные Фабрики Будущего (Digital, Smart, Virtual Factories of the Future), имеющие принципиальную схему в

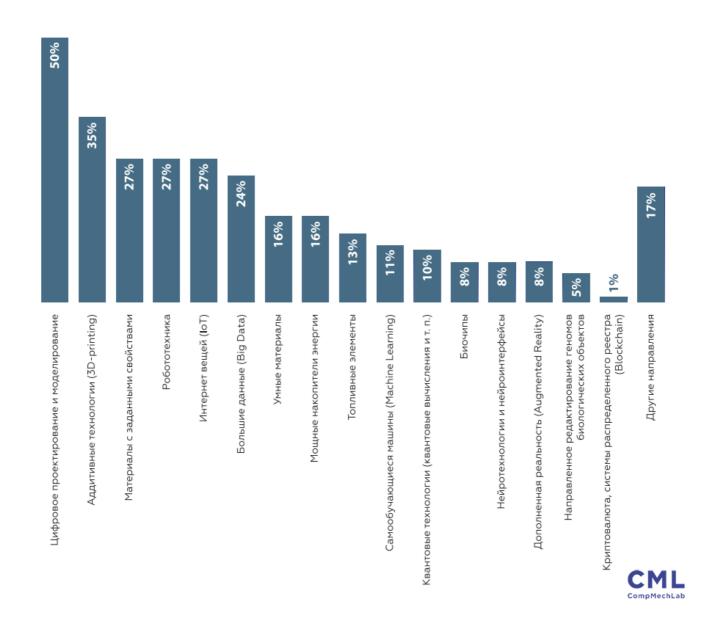
виде триады «цифровое проектирование и моделирование & новые материалы & аддитивные технологии», в которой драйвером выступает новая парадигма цифрового проектирования и моделирования Smart Digital Twin – [(Simulation & Optimization)-Based Smart Big Data]-Driven Advanced (Design & Manufacturing).

Данным технологическим направлениям в последнее время уделяется всё больше внимания со стороны предприятий высокотехнологичной промышленности, государства, научно-технологического и предпринимательского сообщества. В 2016 году российские компании, представленные в ежегодном национальном рейтинге быстроразвивающихся высокотехнологичных компаний «ТехУспех», участвовали в опросе, в ходе которого, в частности, ответили на вопрос о том, какие актуальные технологические тренды они рассматривают в качестве возможности для создания новых продуктов или наделения новыми свойствами уже выпускаемых позиций.

По итогам опроса на первые пять строк вышли технологии, которые в целом аналитиками обычно связываются с Индустрией 4.0:

- цифровое проектирование и моделирование (этот комплекс технологий отметили 50% компаний);
 - аддитивные технологии (3D-printing) (35%);
 - материалы с заданными свойствами (27%);
 - робототехника (27%);
 - интернет вещей (IoT) (27%).

Рисунок 3. Распределение ответов на вопрос «Какие из перечисленных направлений рассматриваются в вашей компании как возможность для создания новых продуктов или наделения новыми свойствами уже выпускаемых позиций» (в % к числу всех опрошенных компаний).



Источник: Национальный рейтинг быстроразвивающихся высокотехнологичных компаний «ТЕХУСПЕХ-2016»

На первое место вышло цифровое проектирование и моделирование, важность которого отметила половина респондентов (стоит отметить, что основную часть респондентов составляют машиностроительные компании). Действительно, на сегодняшний день вряд ли возможно представить успешно функционирующее высокотехнологичное предприятие, не использующее цифровые технологии, по крайней мере, на некоторых этапах.

Цифровые системы организации и управления, такие как технологии управления жизненным циклом изделий (PLM), автоматизированные системы управления технологическими процессами (ICS), системы управления производственными процессами на уровне цеха (MES) также крайне востребованы высокотехнологичными компаниями и стабильно лидируют в опросах о ключевых технологиях, необходимых для достижения и поддержания конкурентоспособности. Спрос порождает необходимость и в специалистах данного профиля – инженерах и разработчиках.

Рисунок 4. Топ-6 направлений, которые рассматриваются как перспективные (% опрошенных респондентов)

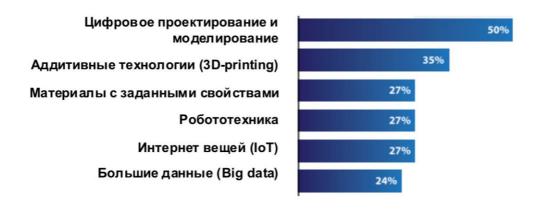


Рисунок 5. Лучшие в своем классе компании применяют средства численного моделирования на всех этапах разработки

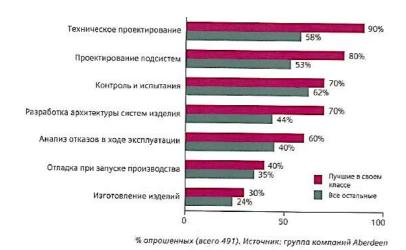


Рисунок 6. Топ-3 факторов конкурентоспособности компаний (% опрошенных респондентов)



Рисунок 7. Топ-5 востребованных ресурсов (% опрошенных респондентов)



Рисунок 8. Рост сложности изделий



% опрошенных (всего 488). Источник: группа компаний Aberdeen

Источники: группа компаний Aberdeen, Национальный рейтинг быстроразвивающихся высокотехнологичных компаний «TEXYCПEX-2016»,

Сегодня в современной высокотехнологичной промышленности происходит смещение «центра тяжести» на этап проектирования. Если раньше изготовление высокотехнологичного изделия предполагало множество натурных испытаний, то сейчас доводка изделия таким путём становится слишком дорогой и неконкурентоспособной.

Почему так происходит? При проектировании сложных высокотехнологичных изделий неизбежны ошибки, которые выявляются при последующих испытаниях. Исправление этих ошибок и внесение необходимых изменений отбрасывает разработку продукта обратно на стадию проектирования, за которым следует изготовление нового прототипа и проведение новых натурных испытаний. Изготовление прототипов и проведение испытаний – процесс крайне дорогостоящий, причем чем позже вносятся изменения, тем большие издержки несет компания.

В основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования лежит использование сложных мультидисциплинарных математических моделей с высоким уровнем адекватности реальным материалам, конструкциям и физико-механическим процессам (включая технологические и производственные), описываемых уравнениями математической физики, в первую очередь, 3D нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных.

Такие математические модели, или «умные» модели, агрегируют в себе все знания, которые применяются при проектировании, производстве и эксплуатации изделия / продукта / конструкции / машины / установки / технической или киберфизической системы:

- 1) фундаментальные законы и науки (математическая физика, теории колебаний, упругости, пластичности и т. д., механика разрушения, механика композиционых материалов и композитных структур, контактного взаимодействия, динамика и прочность машин, вычислительная механика, гидроаэродинамика, тепломассообмен, электромагнетизм, акустика, технологическая механика и др.);
- 2) геометрические (CAD) и вычислительные конечно-элементные (CAE) полномасштабные модели реальных объектов и физико-механических процессов;
- 3) полные данные о материалах, из которых изготавливается изделие, включая данные о поведении материалов при воздействии тепловых, электромагнитных и др. полей, скоростном деформировании, вибрационном, ударном, мало- и многоцикловом нагружении;
- 4) информацию об эксплуатационных режимах (нормальные условия эксплуатации, нарушения нормальных условий эксплуатации, аварийные ситуации и т. д.), включая информацию, которая обеспечивает заданное поведение конструкции в тех или иных ситуациях (так называемое программируемое поведение);
- 5) данные о технологиях производства и сборки как отдельных элементов, так и конструкций в целом;

6) прочие характеристики и параметры.

Суть «умной» математической модели целесообразно раскрыть на примере автомобилестроения — наукоемкой, динамично развивающейся и высококонкурентной отрасли с объемом глобального рынка около 100 млн автомобилей в год. Современный автомобиль должен удовлетворять как огромному числу целевых характеристик и показателей, включая потребительские качества (комфорт, эргономичность, современный внешний вид и т. д), так и требованиям активной и пассивной безопасности, аэродинамики, технологичности и т. д.

Наиболее полной и сложной оценкой качества и безопасности автомобиля является натурный краш-тест. Каждый автомобиль должен удовлетворять всем требованиям серии сертификационных и рейтинговых испытаний, для того чтобы обеспечить его глобальную конкурентоспособность на мировом рынке. При этом натурные испытания являются чрезвычайно дорогостоящими, поэтому единственным способом минимизировать затраты и сократить время вывода на рынок автомобиля является проведение виртуальных испытаний. Для этого, вместо изготовления прототипов и их тестирования, разрабатывается цифровая модель, которая также тестируется в цифровой среде, при этом количество виртуальных испытаний в десятки и даже сотни раз превышает количество натурных испытаний, которые проводились бы при традиционном подходе. Проведение виртуальных испытаний помогает добиться высочайшей степени детализации: например, программировать разрушение 5 000 - 8 000 сварных точек кузова автомобиля при различных вариантах возможных столкновений таким образом, достигается необходимый высокий уровень пассивной безопасности.

Такой подход помогает сосредоточить основную долю изменений и затрат на стадии проектирования. Использование технологий компьютерного проектирования и моделирования, начиная с самых ранних этапов, дает существенные преимущества для соблюдения трех основных критериев успешности разработок: сроков, стоимости и качества. Таким образом, появляется возможность не только значительно минимизировать общий объем затрат, но и ускорить создание нового продукта, который будет при этом иметь высокие технико-эксплуатационное характеристики.

Ключевым элементом цифровизации является цифровой двойник - «умная» модель объекта / продукта, обеспечивающая отличие между результатами виртуальных испытаний и натурных испытаний в пределах ± 5% и / или «умная» модель, учитывающая особенности конкретного производства и технологии изготовления. Цифровой двойник должен постоянно пополняться данными об эксплуатации реального объекта и отображать его функциональное состояние в режиме реального времени. Такая модель создается в

результате численного моделирования и оптимизации, фиксирует все данные о материалах, особенностях конструкции, произведенных операциях, испытаниях.

Цифровой двойник позволяет вовремя определять неполадки и осуществлять ремонт, прогнозировать состояние объекта и принимать решения о режимах эксплуатации в дальнейшем. Всё это дает возможность снизить количество простоев и эксплуатационные издержки, повысить эффективность используемого оборудования и систем. Кроме того, сокращаются производственные циклы, что ускоряет процесс выведения продукта на рынок.

Создание цифрового двойника предполагает разработку многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений. Такая матрица может содержать до 60 тысяч целевых показателей и требований, предъявляемых к продукту и его компонентам, а также ресурсных ограничений (временных, финансовых, технологических, производственных и других). Это дает возможность формировать цифрового двойника, который ведет себя так же, как и реальный объект на всех этапах жизненного цикла, включая этап эксплуатации, с высокой степенью адекватности реальному физическому объекту.

Наряду с техническими преимуществами цифровизация обладает значительным экономическим потенциалом. По оценкам экспертов, к 2025 году цифровая трансформация позволит европейской промышленности генерировать дополнительную выручку до 250 млрд евро ежегодно, причем больше всего выиграют такие отрасли, как машиностроение, логистика и автомобилестроение.