

Мировая технологическая повестка и глобальные тенденции развития промышленности в условиях цифровой экономики



А. И. Боровков,
к. т. н., профессор,
проректор
по перспективным проектам,
Санкт-Петербургский
политехнический
университет Петра Великого
vicerector.ap@spbstu.ru



Л. А. Щербина,
начальник отдела
Инжинирингового центра
«Центр компьютерного
инжиниринга»,
Санкт-Петербургский
политехнический
университет Петра Великого
petrova_la@spbstu.ru



В. М. Марусева,
магистрант,
Мюнхенский
технический университет
v.m.maruseva@yandex.ru



Ю. А. Рябов,
к. полит. н., начальник
отдела технологического
и промышленного форсайта
Инжинирингового центра
«Центр компьютерного
инжиниринга»,
Санкт-Петербургский
политехнический
университет Петра Великого
ryabov_yua@spbstu.ru

Рассмотрены глобальные тенденции развития промышленности, наиболее значимой из которых является переход к четвертой промышленной революции. Выделены глобальные вызовы, с которыми сталкиваются высокотехнологичные компании, среди которых: возрастание сложности конечных изделий и производственных процессов, сокращение сроков вывода продукта на рынок, кастомизация, стремительное развитие технологий, быстрое устаревание инженерных и технологических компетенций и другие. Ответом на данные вызовы может стать развитие и применение высокотехнологичными компаниями всего комплекса передовых производственных технологий. Для достижения долгосрочного конкурентного преимущества на рынке необходимо создавать системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в короткие сроки создание передовых изделий — «Цифровые», «Умные», «Виртуальные Фабрики Будущего». Формат «Цифровых фабрик» позволит России быть конкурентоспособной в роли всемирного «Цифрового конструкторского бюро» и максимально учесть значительные структурные изменения в современной высокотехнологичной промышленности — смещение «центра тяжести» в глобальной конкуренции на этап проектирования.

Ключевые слова: цифровая экономика, передовые производственные технологии, «умный» цифровой двойник, «Фабрики Будущего», конкурентоспособность.

В настоящий момент наблюдается переход к цифровой экономике, которая характеризуется проникновением цифровых технологий в различные сферы человеческой деятельности. Существенные изменения происходят в промышленности. Успешными на глобальном и внутреннем рынке становятся те компании, которые меняются в соответствии с требованиями рынка (глобальная конкурентоспособность, эффективность и высокая производительность труда). «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, конечно, понимается, глобальный рынок» [1].

С учетом анализа глобальных тенденций развития цифровой экономики и вызовов, стоящих перед высокотехнологичными предприятиями, а также особенностей российской экономики, в данной статье будут выявлены перспективные направления развития отечественной промышленности, обеспечивающие глобальную конкурентоспособность продукции и услуг. Исследование основано на анализе и обобщении материалов российских и международных работ

по данной тематике, а также изучении опыта работы Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого с компаниями – лидерами мировой и российской промышленности.

Четвертая промышленная революция и вызовы для высокотехнологичной промышленности

Слияние реального и виртуального миров является одним из наиболее значимых на сегодняшний день технологических трендов. Технично-эксплуатационные характеристики многих высокотехнологичных продуктов уже не ограничиваются конструкционными и технологическими инновациями, а в большей степени совершенствуются благодаря сопутствующему программному обеспечению, дающему возможность снизить риски и издержки, а также прогнозировать процесс эксплуатации изделий. То же можно сказать и о производственных процессах – высокотехнологичное оборудование уже невозможно себе представить отдельно от сопутствующего ему программного обеспечения и цифровых технологий, применяемых на всех этапах создания продукта. Слияние реального и виртуального миров знаменует собой начало четвертой промышленной революции, которая будет характеризоваться переходом от так называемых встроенных систем (embedded systems) к киберфизическим системам (cyber-physical systems, CPS)¹. Концепция киберфизических систем неразрывно связана с технологиями индустриального Интернета и реализацией «межмашинного взаимодействия» (Machine-to-machine communication, M2M), позволяющими машинам

«общаться» друг с другом и принимать самостоятельные решения о режиме функционирования, быстро и гибко реагируя на меняющиеся внешние условия. Применительно к промышленности соединение виртуального и физического мира посредством киберфизических систем означает появление «умных» фабрик, характеристиками которых являются адаптивность, самонастраиваемость, гибкость, ресурсоемкость и т. д. (рис. 1).

Четвертая промышленная революция стала главной темой 46-го Всемирного экономического форума в Давосе (20-23 января 2016 г.). В своем выступлении основатель и президент форума К. Шваб подчеркнул, что, применительно к киберфизическим системам, необходимо вести речь о слиянии технологий и размывании границ не только физического и цифрового мира, но и биологического, а скорость, размах и системное воздействие происходящих явлений таковы, что выделение именно четвертой промышленной революции, а не продолжение третьей не вызывает сомнений. В технологическом плане швейцарский экономист указал на прорывы в повсеместное распространение цифровых технологий, а также искусственный интеллект, беспилотные автомобили и летательные аппараты, Интернет вещей, 3D-принтинг, нанотехнологии, робототехнику, биотехнологии, материаловедение, системы хранения энергии, квантовые вычисления [3-5].

Однако в стремлении соответствовать условиям нового технологического уклада предприятия сталкиваются с рядом вызовов. Неуклонное повышение требований, предъявляемых к технико-эксплуатационным характеристикам конечной продукции, стимулирует спрос на multifunctional инженерные изделия

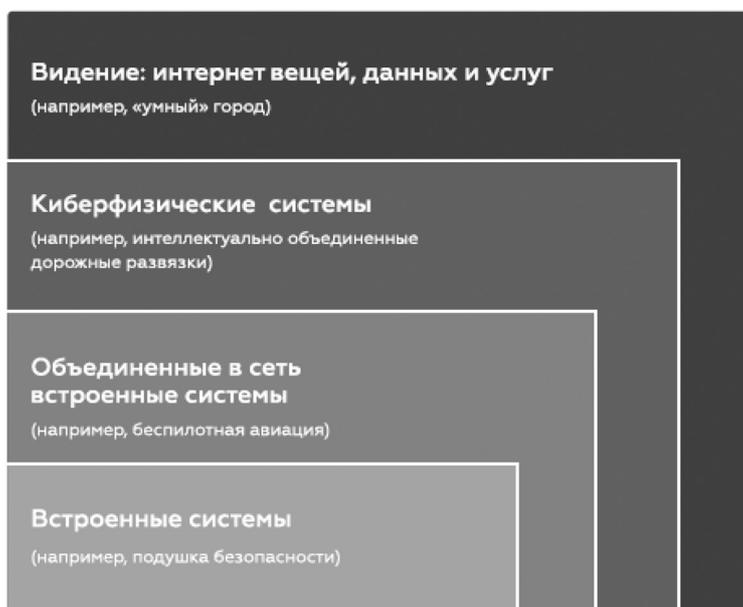


Рис. 1. Переход от встроенных систем к киберфизическим системам
Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам [2]

¹ Встроенные системы – это центральные блоки управления (central control units), встроенные в различные объекты, которыми они управляют. Киберфизические системы – это набор новых технологий (enabling technologies), позволяющий соединить виртуальный и физический мир, в котором «умные» объекты взаимодействуют друг с другом за счет использования интернета/сетей и данных.

и обуславливает необходимость постоянных модификаций продуктов (изделий/конструкций/разнообразных технических систем). Сложность изделий возрастает в том числе из-за увеличивающегося количества и разновидности компонентов [6]. По данным Roland Berger, по сравнению с 1997 г. к 2012 г. количество производимых продуктов увеличилось на 220%, а количество необходимых компонентов и сырья — на 185%. При этом сроки производственных циклов сократились на 24% [7].

Согласно исследованию компании Aberdeen Group, в котором приняло участие более 200 организаций, усложнение производимой продукции является актуальной проблемой для 33% респондентов. Среди представителей среднего и малого бизнеса этот процент еще выше — 37%. Также опрошенные выделили такие проблемы, как изменение проектных требований (23 и 25%, соответственно), сроки ожидания решений/информации (23 и 19%, соответственно), большое количество вносимых технических изменений (18 и 16%, соответственно). Примечательно, что для средних и малых предприятий такие проблемы, как сроки ожидания решений/информации и количество вносимых в продукт изменений имеют меньшую остроту [6].

Усложнение конечной продукции обуславливает и повышение сложности технологических процессов, необходимых для ее изготовления [8]. Более того, во многих динамично развивающихся высокотехнологичных отраслях, своевременное обновление и совершенствование производственных технологий является не менее важным фактором конкурентоспособности, чем совершенствование самого конечного продукта [9]. По данным исследования А. Т. Кеагнэу, немецкие предприятия при уменьшении сложности производства могли бы экономить \$30 млрд ежегодно, при этом их операционная прибыль могла бы быть выше на 3-5% [10].

Наряду с удовлетворением требований к качеству и функциональным характеристикам конечного продукта компании-производители для сохранения конкурентоспособности вынуждены выводить продукцию на рынок все быстрее и быстрее. 61% респондентов, принявших участие в упомянутом исследовании компании Aberdeen Group, обозначают сокращение сроков вывода продукции на рынок (Time-to-Market) в качестве одной из наиболее острых проблем процесса разработки продукта [6]. На данный момент до 80% времени, которое занимает процесс вывода продукта на рынок, проходит впустую, приводя к снижению прибыли и потере доли рынка [11]. Однако срок вывода продукции на рынок — не единственная проблема, в основе которой лежит временной фактор: она является конечным звеном в триаде вопросов тайм-менеджмента в компании:

- сокращение сроков принятия решений (Time-to-Decision, T2D);
- сокращение времени исполнения (Time-to-Execution, T2E);
- сокращение времени вывода высокотехнологичной продукции на рынок (Time-to-Market, T2M).

Таким образом, на общее количество времени, которое занимает процесс вывода продукта на рынок,

влияет также скорость изготовления (длительность производственных циклов, скорость выполнения технологических операций), и время, которое уходит на решение организационных вопросов и согласование деятельности различных подразделений.

Немаловажно, что помимо требований, предъявляемых к качеству конечной продукции, также растут требования к ее кастомизации, максимальной «подгонке» параметров под требования конкретного заказчика. Продукты становятся все более разнообразными, что порождает спрос на мелкие серии. При использовании традиционных производственных технологий мелкосерийное производство является невыгодным для заказчиков, так как означает повышение временных и финансовых затрат. Однако при всем этом конечный продукт в то же время должен иметь доступную цену, чтобы соответствовать требованиям рынка.

Учитывая это, предприятия вкладывают существенные средства в техническое перевооружение, но зачастую это становится самоцелью. В то время как оценка рынка и прогнозирование спроса на конечную продукцию, которая должна выпускаться при помощи обновленного оборудования и технологий, при этом играют второстепенную роль. На данный момент по программе модернизации промышленности в России закуплено порядка 80 тыс. станков, но загружены они, как правило, в среднем не более чем на 10-20% [12]. Такая ситуация наблюдается на сегодняшний день в разных отраслях, к примеру, в оборонно-промышленном комплексе [13] и области здравоохранения. Ввод новых мощностей проходит без тщательного планирования последующего производства, и загрузки оборудования. В итоге в условиях неопределенности рынка и отсутствия спроса на производимую продукцию наблюдается простой оборудования с его последующим быстрым устареванием. Таким образом, значительные средства, вложенные в техническое перевооружение, оказываются израсходованными неэффективно.

Кроме того, в условиях обостряющейся конкурентной борьбы в мире увеличивается спрос на высококвалифицированную рабочую силу. Уже сейчас в ряде стран, при достаточно высоком уровне безработицы, высокотехнологичные сектора промышленности (авиа-, авто-, двигателестроение, машиностроение, приборостроение, нефтегазовая отрасль) испытывают дефицит квалифицированных кадров, — в основном, речь идет об инженерах и специалистах в таких областях, как математика и информатика [14]. Согласно опросу, проведенному специалистами PwC в 2014 г., до 85% руководителей предприятий озабочены проблемой дефицита квалифицированного персонала [16]. McKinsey Global Institute прогнозирует, что к 2020 г. мировой экономике будет недоставать от 38 до 40 млн специалистов с высшим образованием [17]. Также на рынке труда будет ощущаться нехватка 85 млн человек с высокой и средней квалификацией [18]. Согласно данным исследования The Boston Consulting Group, в России в 2017 г. насчитывалось 12 млн высококвалифицированных кадров. До 2025 г. России понадобится от 5,8 млн до 9,2 млн специалистов, способных работать в условиях неопределенности и решать сложные задачи [19].

Технические вузы в большинстве своем используют традиционные подходы к образованию, предполагающие отраслевую и достаточно узкую специализацию. Таким образом, компетенции подготовленных специалистов не соответствуют требованиям рынка. Кроме того, стремительное развитие в мире наукоемких мультидисциплинарных технологий, применяемых в промышленности, приводит к более быстрому устареванию любого набора инженерно-технических и технологических компетенций — технологии появляются, изменяются и развиваются гораздо быстрее, чем длится традиционный цикл подготовки инженера (4 года бакалавриата, 2 года магистратуры).

В определенный момент времени сложность изделий возрастает настолько, что выходит за пределы понимания генерального конструктора, его опыта и знаний, основанных на опыте и знаниях предыдущих поколений инженеров («грань интуиции генерального конструктора»). Появляются такие задачи, которые не были решены никем ранее, ни им самим. Одновременно происходит экспоненциальный рост технологий. Производство конкурентоспособной продукции в короткий срок и при ограниченных финансовых ресурсах требует применения новых технологий, которыми генеральный конструктор, компания или целая отрасль не обладают. Равно как и компетенциями мирового уровня, поскольку для удержания компетентных кадров требуется, в том числе, высокий уровень оплаты труда, который не каждое предприятие может предложить [20] (рис. 2).

Говоря о глобальной конкуренции как продукции и производств, так и инженерных кадров, необходимо учитывать несколько аспектов конкуренции, каждый из которых имеет свою специфику:

- конкуренция с высокотехнологичными компаниями Европы и США;
- конкуренция с развивающимися странами, в первую очередь, с Китаем и Индией.

Времена, когда Китай и Индия рассматривались как ресурс дешевой рабочей силы, вследствие чего приобрела популярность модель аутсорсинга производств и услуг, постепенно уходят в прошлое. По данным Forbes, среднемесячная зарплата в таких городах, как Шанхай (\$1135), Пекин (\$983), Шэньчжэнь (\$938) выше, чем в некоторых странах Европейского союза, таких как Хорватия (\$887), Литва (\$956), Латвия (\$1005) и сравнима с такими странами, как Венгрия (\$1139), Эстония (\$1256), Польша (\$1569) [21].

Тренд роста зарплат в Китае является достаточно устойчивым: с 2008 г. наблюдался стабильный рост, за 10 лет среднемесячная зарплата выросла в три раза (с 24192 до 64452 юаней). Ожидается, что эта тенденция сохранится в ближайшее время, хотя рост постепенно замедляется [22]. Среднемесячная зарплата в Индии составляла в среднем 46375 индийских рупий с 2014 по 2017 гг., достигнув рекордного уровня в 48100 индийских рупий в 2016 г. [23].

Очевидно, что и Индия, и Китай постепенно теряют конкурентное преимущество в виде дешевизны рабочей силы, однако одновременно захватывают новые ниши рынков, повышают технологичность и конкурентоспособность производственного сектора, расширяют набор компетенций, в том числе в высоко-

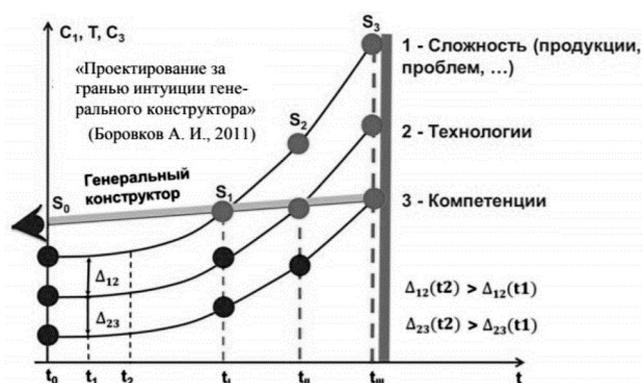


Рис. 2. Эволюция триады «Сложность & Технологии & Компетенции»: Δ_{12} — разница между ростом сложности продукции и ростом сложности технологий; Δ_{23} — разница между ростом сложности технологий и ростом компетенций; S_0, S_1, S_2, S_3 — точки во времени, в которые фиксируется рост сложности
Источник: Центр НТИ СПбПУ

технологичной сфере. Китай активно экспортирует высокотехнологичную продукцию. Для сравнения: если в середине 1990-х гг. объемы экспорта Китая в денежном выражении были пренебрежимо малы, а Германии составляли около \$50 млрд, спустя двадцать лет ситуация поменялась коренным образом: экспорт Китая превысил \$550 млрд, в то время как экспорт Германии не превышал \$200 млрд [24].

По данным Quora со ссылкой на ООН, Индия по сравнению с Китаем за последние 15 лет не продемонстрировала столь бурного роста экспорта высокотехнологичной продукции. Однако Индия развивает другое направление, будучи активно вовлеченной в проведение НИР и НИОКР, в том числе в области инжиниринга. Согласно исследованию Zinnov Research&Analysis, на долю Индии приходится примерно треть глобального рынка НИР и НИОКР и услуг в этой сфере, что в денежном выражении составляет \$18,3 млрд. Значительную часть занимают инженерные НИР и НИОКР: в 2013 г. на них пришлось более \$16,5 млрд, и по прогнозам, к 2020 г. этот показатель вырастет до \$38 млрд [25].

Применение комплексных технологических решений как ответ на глобальные вызовы для мировой высокотехнологичной промышленности

В ответ на глобальные вызовы мировой высокотехнологичной промышленности, компаниям необходимо развивать и применять передовые производственные технологии (Advanced Manufacturing Technologies) — «совокупность новых, с высоким потенциалом, уже зарекомендовавших себя, демонстрирующих де-факто стремительное развитие, но имеющих пока по сравнению с традиционными («конвенциональными») технологиями относительно небольшое распространение, новых материалов, методов и процессов, которые используются для производства в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособных и востребованных на мировом рынке продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.)» [26].

Передовые производственные технологии характеризуются мультидисциплинарностью, наукоемкостью, интеллектуалоемкостью и имеют кросс-отраслевой, кросс-рыночный характер. Их отличие от традиционных производственных технологий, заключается, прежде всего, в повышении роли «цифровизации» и «интеллектуализации» производственных процессов.

К этим технологиям можно отнести следующие [27]:

- цифровое проектирование и моделирование, включая суперкомпьютерный инжиниринг, технологии оптимизации, бионический дизайн, «умные» модели, цифровые двойники (Digital Twin);
- новые материалы (в первую очередь, композиционные материалы, метаматериалы, металлопорошки для аддитивного производства);
- аддитивные и гибридные технологии;
- гибкие производственные ячейки/робототехнические комплексы;
- промышленные датчики, индустриальный Интернет;
- большие данные (Big Data), в первую очередь, Smart Big Data;
- информационные системы управления производством и предприятием;
- технологии виртуальной и дополненной реальности;
- экспертные интеллектуальные системы и искусственный интеллект.

Производство конкурентоспособной высокотехнологичной продукции, а также формирование необходимых для ее изготовления условий требует от предприятий использования всего комплекса передовых производственных технологий. Каждая технология обладает «весовым коэффициентом», т. е. вносит свой определенный вклад в создание уникальных изделий. Наиболее весомое влияние оказывают технологии цифрового проектирования и моделирования изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.) и производственных процессов на всем протяжении жизненного цикла продукта. Наибольшим потенциалом данные технологии обладают на этапе создания концепта и проектирования благодаря использованию «умных» моделей, «умных» больших данных (Smart Big Data) и цифровых двойников (Digital Twins) продуктов, оборудования, производства [12] (рис. 3).

Применение «умной» модели на основе Smart Big Data, которая предполагает создание многоуровневой матрицы целевых показателей и ресурсных ограничений с максимально возможным количеством известных параметров (высокоточные модели материалов, нелинейные характеристики соединений и механизмов, производственные технологии и т. д.), позволяет учитывать специфику производственного процесса еще на стадии проектирования, а также радикально снизить стоимость изготовления, и, следовательно, и конечного продукта. Опыт решения сложных промышленных задач свидетельствует, что многоуровневая матрица модели изделия содержит десятки тысяч (~40000...60000) требований, предъявляемых к продукту в целом, к его компонентам и деталям в отдельности. Далее, на основе выполнения десятков тысяч виртуальных испытаний формируется цифровой двойник (Digital Twin) реального объекта, который ведет себя с высокой степенью точности так же, как и реальный объект на всех этапах жизненного цикла, включая, естественно, этап эксплуатации объекта. Возникает новая парадигма Smart Digital Twin – [(Simulation & Optimization)-Based Smart Big Data]-Driven Advanced (Design & Manufacturing) – передовое проектирование и производство, драйвером которых является «умный» цифровой двойник, формируемый в результате численного моделирования и оптимизации на основе «умных» больших данных. Такой цифровой двойник 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.

По некоторым данным, до 80% затрат на изготовление продукта сосредотачивается именно на стадии проектирования. То же справедливо и для показателей качества конечного продукта [11]. Следовательно, оптимизация процесса разработки позволит радикально сократить финансовые и временные затраты и повысить качество изделия.

В то же время, несмотря на широкие возможности оптимизации производственных процессов, которые дает внедрение передовых производственных технологий, важно понимать, что ни одна, отдельно взятая, технология не способна предоставить долгосрочного конкурентного преимущества на рынке [27]. Поэтому важно комплексирование технологий таким образом, чтобы они давали максимальный синергетический эффект.

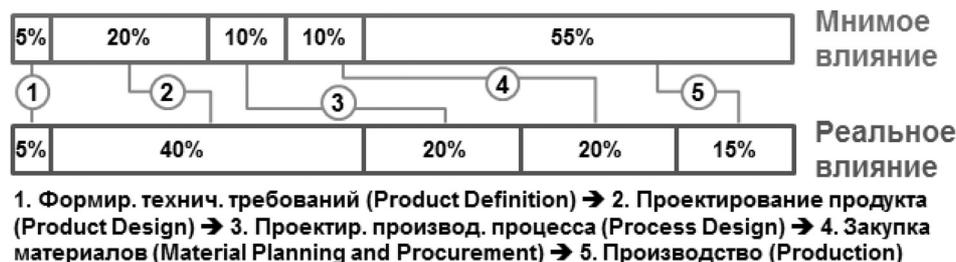


Рис. 3. Степень влияния этапов цепочки добавленной стоимости на скорость вывода продукции на рынок

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам [28]

Конвергенция и синергия компьютерного проектирования и моделирования, включая технологии оптимизации, и аддитивных технологий позволили сформировать принципиально новый подход к проектированию и созданию «best-in-class» оптимизированных конструкций — бионический дизайн (Simulation & Optimization)-Driven Bionic Design. При данном подходе проектирование изделия осуществляется на базе первичных инженерных расчетов, что существенно облегчает дальнейшую работу. Таким образом, получаемый в результате дизайн близок к оптимальному и может служить стартовой площадкой для более эффективного использования методов математического программирования. Это дает возможность значительно сократить сроки разработки продукта и существенно удешевить этот процесс, позволяя при этом повысить технико-эксплуатационные характеристики изделия. В силу сложной геометрии («за гранью интуиции, знаний и опыта главного конструктора») изготовление конструкций, полученных в результате оптимизации, посредством традиционной механообработки, даже на современных многофункциональных станках с ЧПУ, является либо невозможным, либо крайне затратным, в то время как аддитивные технологии позволяют снять эти производственные ограничения и практически полностью использовать потенциал технологий оптимизации [30].

Еще одним ответом на вызов возрастающей сложности технологических процессов и инструментов производства является так называемая демократизация технологий, определяемая как выведение технологий в массы, использование какой-либо перспективной технологии, изначально предназначенной для решения специфических и сложных задач узким кругом специалистов, все более широкой аудиторией с последующим ее упрощением [31]. Демократизация заключается в создании технологий, для использования которых достаточно естественных аналитических способностей и имеющихся у специалиста навыков работы с подобными/похожими технологиями.

В сфере САПР-продуктов демократизация выражается главным образом в повышении удобства и простоты использования программных систем, благодаря чему специалисты, не обладающие глубоким пониманием узкоспециальных областей проектирования, также могут с успехом применять данное программное обеспечение. Эти тенденции прослеживаются в приоритетах таких компаний, как Altair, MSC, Autodesk и др. [32]. То же самое происходит и в технологическом секторе, например, в сфере аддитивных технологий. Если еще недавно 3D-принтер воспринимался как нечто недоступное и крайне дорогостоящее, то на сегодняшний день уже существуют принтеры, которые делают забавные безделушки из бытового пластикового мусора, и при этом имеют весьма доступные цены. Демократизация технологий выгодна не только конечным пользователям, но и компаниям-вендорам, у которых появляется возможность расширить рынок и увеличить количество клиентов-пользователей.

Однако для достижения долгосрочного конкурентного преимущества на рынке, при производстве высокотехнологичной продукции, необходимо не просто

достижение синергии путем сочетания определенных технологий, необходимы «системы комплексных технологических решений, обеспечивающие в кратчайшие сроки проектирование и производство глобально конкурентоспособной продукции нового поколения» [27].

Таковыми системами являются «Цифровые», «Умные», «Виртуальные Фабрики Будущего» (Digital, Smart, Virtual Factories of the Future), которые необходимо формировать из лучших технологий мирового уровня. В рамках деятельности «Цифровых Фабрик» (Digital Factories) происходит проектирование и производство изделия от стадии исследования и планирования, когда закладываются базовые принципы продукта, и заканчивая созданием цифрового макета (Digital Mock-Up, DMU), цифрового двойника (Digital Twin), опытного образца или мелкой серии («безбумажное производство», «все в цифре»). Цифровая фабрика подразумевает наличие «умных» моделей продуктов или изделий (машин, конструкций, агрегатов, приборов, установок и т. д.) на основе новой парадигмы цифрового проектирования и моделирования Smart Digital Twin — [(Simulation & Optimization)-Based Smart Big Data]-Driven Advanced (Design&Manufacturing) [27].

«Умные» фабрики обеспечивают производство продукта от заготовки до готового изделия, отличительными чертами которого является высокий уровень автоматизации и роботизации, исключая человеческий фактор и связанные с этим ошибки, ведущие к потере качества («безлюдное производство»). В качестве входного продукта «Умных Фабрик», как правило, используются результаты работы «Цифровых Фабрик». «Умная» фабрика подразумевает наличие оборудования для производства — станков с числовым программным управлением, промышленных роботов и т. д., а также автоматизированных систем управления технологическими процессами (Industrial Control System, ICS) и систем оперативного управления производственными процессами на уровне цеха (Manufacturing Execution System, MES) [27].

Виртуальные фабрики обеспечивают создание изделия за счет объединения «Цифровых» и (или) «Умных Фабрик» в распределенную сеть. Виртуальная фабрика подразумевает наличие информационных систем управления предприятием (Enterprise Application Systems, EAS), позволяющих разрабатывать и использовать в виде единого объекта виртуальную модель всех организационных, технологических, логистических и прочих процессов на уровне глобальных цепочек поставок (поставки => производство => дистрибуция и логистика => сбыт => послепродажное обслуживание) и (или) на уровне распределенных производственных активов [27] (рис. 4).

Для решения сложных комплексных проблем, с которыми сталкивается высокотехнологичная промышленность сегодня необходимы кадры новой формации — системные инженеры, которые обладают компетенциями мирового уровня («инженерный спецназ») и объединяют в одном лице традиционных инженеров-конструкторов, технологов, материаловедов, расчетчиков, а иногда даже в некоторой степени маркетологов и программистов. Кроме того, возрастет

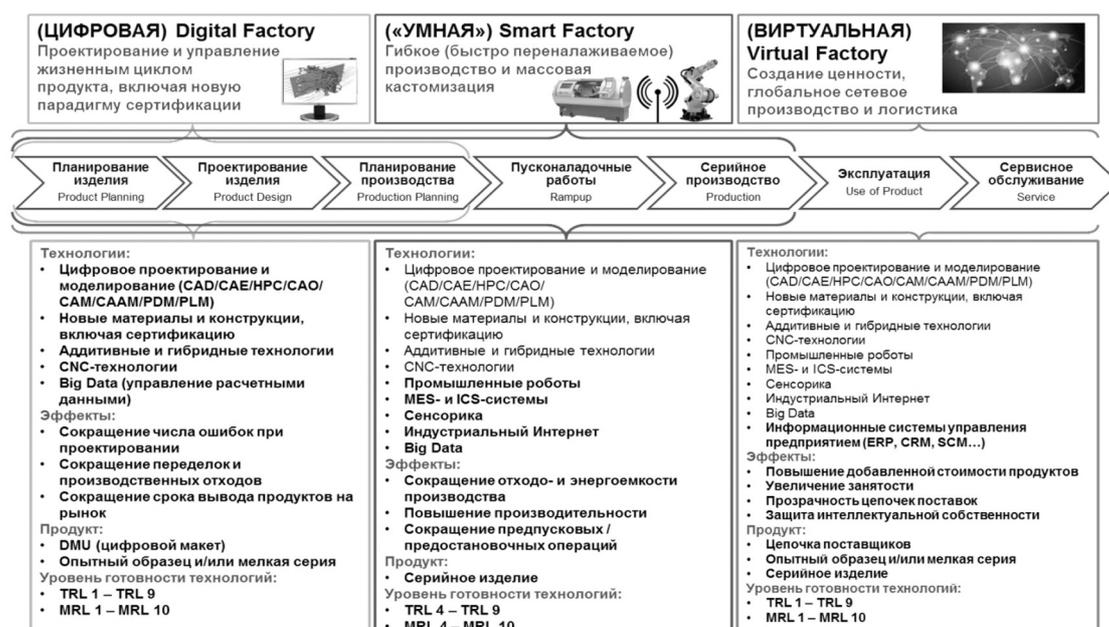


Рис. 4. Составные части (слои) «Фабрика Будущего»

Источник: Центр НТИ СПбПУ по материалам Европейской комиссии

потребность в технологических предпринимателях, разбирающихся в наукоемком высокотехнологичном бизнесе [33]. Таким образом, рынок труда ждет не столько радикальный дисбаланс, сколько смена требований: вместо традиционных специальностей будут востребованы новые [12].

Перед университетами встает задача о пересмотре подходов к подготовке инженерных кадров. В процессе обучения помимо теоретической подготовки большее внимание должно уделяться формированию практических навыков. Этим принципам соответствует концепция CDIO (conceive – design – implement – operate; планирование – проектирование – производство – применение) [35], разработанная в Массачусетском технологическом институте (MIT, США) в 2000 г. [36] совместно с тремя шведскими университетами – Технологическим университетом Чалмерса, Линчепинг-

ским университетом и Королевским технологическим институтом [37]. В 2004 г. были разработаны 12 стандартов CDIO, которые служат в качестве ориентиров для реформы и оценки образовательной программы². В настоящее время эта инициатива получила широкое распространение. Концепцию CDIO применяют по миру в более чем 160 университетах из более 30 стран [38]. Изначально предполагалось использование CDIO в инженерных вузах, но в настоящее время данная концепция получила распространение в образовательных программах и других профилях. В России в проекте CDIO принимают участие 16 вузов, в том числе ТПУ, МАИ, МФТИ и др.

Еще одним из важных подходов в инженерном образовании является STEM-концепция, которая интегрирует в единую схему обучения все четыре дисциплины (наука – технологии – инжиниринг/

² Стандарт 1. Утверждает, что создание и развитие продуктов и систем на протяжении всего их жизненного цикла «задумка – проектирование – реализация – управление» является общим контекстом развития инженерного образования.

Стандарт 2. Говорит о том, что необходимо четкое, подробное описание приобретенных личностных, межличностных и профессиональных компетенций в создании продуктов и систем, соответствующих установленным целям программы и одобренных всеми участниками программы.

Стандарт 3. Требуется, чтобы учебный план включал в себя взаимодополняющие учебные дисциплины и был нацелен на интегрирование в преподавании личностных, межличностных компетенций, а также компетенций создавать продукты и системы.

Стандарт 4. Предполагает наличие вводного курса, который бы закладывал основы инженерной практики в области создания продуктов и систем и был нацелен на обучение основным личностным и межличностным компетенциям.

Стандарт 5. Нацеливает на то, чтобы в процессе обучения студент участвовал как минимум в двух учебно-практических заданиях по проектированию и созданию изделий, одно из которых он бы выполнял на начальном уровне, а второе – на продвинутом уровне.

Стандарт 6. Связан с учебными помещениями, в которых была бы возможна организация практического подхода к обучению навыкам проектирования и создания продуктов и систем, передача дисциплинарных знаний, а также организация социального обучения.

Стандарт 7. Обязывает, чтобы учебные задания носили интегрированный характер. Выполняя их, студенты осваивали бы дисциплинарные знания, а также личностные, межличностные компетенции и умение проектировать и создавать новые продукты и системы.

Стандарт 8. Говорит о необходимости организации обучения, основанного на активном практическом подходе.

Стандарты 9 и 10. Требуется от профессорско-преподавательского состава повышения их педагогических способностей и компетентности в навыках CDIO.

Стандарт 11. Предполагает, что будет разработана система оценки успеваемости студентов в процессе усвоения дисциплинарных знаний, личностных, межличностных компетенций, а также система оценки способности студента создавать продукты и системы.

Стандарт 12. Связан с оценкой образовательной программы всеми ключевыми субъектами: студентами, преподавателями, представителями бизнес-сообществ и другими – с целью непрерывного совершенствования образовательного процесса.

проектирование – математика). Совокупность компонентов STEM по сути отражает жизненный цикл производства – научные разработки создают фундамент для создания новых и повышения эффективности существующих технологий, далее эти технологии используются при выполнении НИР и НИОКР, в которых научная составляющая также может быть весьма существенной. Но для решения комплексных научно-технических задач также требуется развитие креативных навыков у инженеров. Эта тенденция находит отражение в намерениях включить в систему из традиционных четырех STEM-направлений пятого компонента – Arts (искусство), то есть речь уже идет о STEAM-образовании [39]. Творческое мышление и способность выйти за рамки традиционной парадигмы и посмотреть на проблему под другим углом позволяет специалистам создавать новаторские решения. В конечном счете повышается конкурентоспособность и эффективность как отдельных производств, так и целых отраслей, причем как на национальном уровне, так и в глобальном масштабе.

Перспективы развития отечественной промышленности в условиях цифровой экономики

С целью достижения глобальной конкурентоспособности промышленности высокотехнологичные страны запускают программы, направленные на развитие передовых производственных технологий (Advanced Manufacturing Partnership в США, Industrie 4.0 в Германии и др.). В России с 2014 г. действует Национальная технологическая инициатива (НТИ) – программа мер по формированию принципиально новых рынков и созданию условий для глобального технологического лидерства России к 2035 г. [27]. В рамках НТИ создано направление «Технет», которое посвящено развитию и внедрению в промышленность передовых производственных технологий, и распространению «Фабрик Будущего» [33].

На сегодняшний день для России с учетом общего уровня образования, науки и креативности наиболее перспективным представляется формат «Цифровых Фабрик». Развитие данного формата потребует комплексного решения ряда задач [33]. В области образования важно создать прикладные магистратуры, где обучение будет проходить в рамках реальных НИОКР, а отработка ключевых компетенций будет осуществляться на базе инжиниринговых центров университетов, инжиниринговых компаний, инновационных компаний малого и среднего бизнеса. Кроме того, требуется усовершенствование системы стандартизации и развитие цифровой сертификации новых материалов, изделий и продукции. Также необходимо создать цифровую экосистему «испытательных полигонов», которые станут центрами сбора, тестирования и применения передовых технологий, и формирования компетенций мирового уровня.

Развитие формата «Цифровых Фабрик» позволит России быть конкурентной в роли всемирного «Цифрового конструкторского бюро», а также являться поставщиком цифровых инженерных решений для мировой высокотехнологичной промышленности [12].

Именно «Цифровые Фабрики» будут играть ключевую роль в цифровой экономике и давать наибольшую добавленную (интеллектуальную) стоимость в силу происходящего в современном производстве смещения «центра тяжести» на этап проектирования. В связи с этим конкурентным преимуществом будут обладать «те компании, которые, находясь в тренде цифровой экономики, переносят акценты своей деятельности в область компьютерного инжиниринга, цифрового проектирования и моделирования, «умного» и аддитивного производства и т. д.» [12].

С целью повышения конкурентоспособности именно производственного сектора и возвращения России в число лидеров в этой области целесообразным видится переход к автоматизированному, «безлюдному производству» – концепции «Умной Фабрики». Это позволит преодолеть дефицит кадров рабочих специальностей во многих отраслях, снизить влияние человеческого фактора, количество дефектов и ошибок, а также радикально повысить производительность труда. Кроме того, промышленные роботы смогут освободить человека от выполнения вредных и опасных работ.

Задачу наиболее эффективной организации всего цикла производства помогут решить «Виртуальные Фабрики», основная цель которых – быстрый сбор проектных консорциумов и координация распределенных производственных сетей сертифицированных поставщиков, обладающих уникальными компетенциями и оборудованием. Воплощение этой концепции позволит органично встроиться в тренд совмещения кастомизированного, персонализированного производства без организации масштабных производств у себя, при этом с сохранением собственного лидерства в области проектирования. Производство же при этом будет возможно в любом регионе страны или мира. Выбор локации может быть продиктован стремлением к оптимальному соотношению компетенций, снижению издержек, оптимизации цепи поставок (производство на территории страны заказчика).

Таким образом, в результате исследования глобальных тенденций развития цифровой экономики определены условия долгосрочного конкурентного преимущества на глобальном рынке, которые основываются на применении в промышленности передовых производственных технологий. Дальнейший рост эффективности при производстве высокотехнологичной продукции возможен благодаря объединению передовых производственных технологий в системы комплексных технологических решений (интегрированные технологические цепочки) – «Фабрики Будущего», которые обеспечивают в кратчайшие сроки не только проектирование, но и производство глобальной конкурентоспособной продукции нового поколения.

Формат цифровых фабрик позволит России продемонстрировать научно-технические заделы, опыт подготовки инженеров, обладающих компетенциями мирового уровня, и опыт проектирования и моделирования передовых инженерных решений, а также встроиться в мировые производственные цепочки.

* * *

Работа публикуется при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), конкурса 2017 г. проектов фундаментальных научных исследований, грант № 17-06-00588/18.

Список использованных источников

- А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, В. М. Марусева. Новая парадигма цифрового проектирования и моделирования глобально конкурентоспособной продукции нового поколения // Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии. М.: Департамент корпоративного обучения Московской школы управления Сколково, 2018. С. 5, 24-43.
- Industrie 4.0. Smart Manufacturing for the future. http://www.its-owl.de/fileadmin/PDF/News/2014-01-14-Industrie_4.0-Smart_Manufacturing_for_the_Future_German_Trade_Invest.pdf.
- А. Никитин. Из цифры возгорится пламя. Когда новая промышленная революция придет в Россию // Коммерсант-Деньги. № 7. 2016. <https://www.kommersant.ru/doc/2912212>.
- K. Schwab. The Fourth Industrial Revolution: What it means, how to respond. <http://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>.
- The Future of Jobs: Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf.
- M. Boucher. Growing Product Complexity in SMBs: A Guide to BOM Management. http://support.ptc.com/WCMS/files/142180/en/Growing_Product_Complexity_in_SMBs.pdf.
- Mastering product complexity. <https://www.yumpu.com/en/document/view/33174119/mastering-product-complexity-pdf-3316-kb-roland-berger>.
- Э. Р. Абдулбариева, Ю. Я. Болдырев, А. И. Боровков, В. И. Жигалов и др. Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий: СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014.
- G. P. Pisano, S. C. Wheelwright. The New Logic of High-Tech R&D. <https://hbr.org/1995/09/the-new-logic-of-high-tech-rd>.
- S. Schieter, O. Scheel, G. Klink. How much does complexity really cost. https://www.akearney.com/documents/10192/178350/complexity_secure.pdf/cd044988-91e9-4331-8afe-d72265c745e3.
- Accenture Innovation and Product Development Services. https://www.accenture.com/gr-en/~media/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Strategy_1/Accenture-Innovation-Product-Development-Services.pdf.
- В. Д. Трактовенко. Статья мировым КБ. // «Эксперт «Северо-Запад». №35-38 (754). 2017. <http://expert.ru/northwest/2017/35/stat-mirovyim-kb>.
- Василий Осьмаков: цифровая революция, в отличие от прошлых революций, проходит у нас осознанно // ТАСС. 14.07.2017 г. <http://tass.ru/opinions/interviews/4415227>.
- Unknown Russia: powered by entrepreneurs. http://www3.weforum.org/docs/WEF_Unkown_Russia_2015.pdf.
- О. Бедарева. В России кадровая катастрофа: шесть ракурсов одной проблемы. <http://www.e-xecutive.ru/career/hr-management/1952888-v-rossii-kadrovaya-katastrofa-shest-rakurovov-odnoi-problemy>.
- Growing but slowing. Russian edition of the 17th Annual Global CEO Survey 2014. <https://www.pwc.ru/en/ceo-survey/assets/17th-ceo-survey-russia-eng.pdf>.
- R. Dobbs, A. Madgavkar, D. Barton, E. Labaye, J. Manyika, C. Roxburgh, S. Lund, S. Madhav. The world at work: jobs, pay and skills for 3.5 billion people. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/employment-and-growth/the-world-at-work>.
- D. Barton, D. Farrell, M. Mourshed. Education to employment: Designing System that works. <https://www.mckinsey.com/industries/social-sector/our-insights/education-to-employment-designing-a-system-that-works>.
- В. Бутенко, К. Полунин, И. Котов, Е. Сычева, А. Степаненко и др. Россия 2025: от кадров к талантам. http://d-russia.ru/wp-content/uploads/2017/11/Skills_Outline_web_tcm26-175469.pdf.
- А. И. Боровков, Ю. А. Рябов, К. В. Кукушкин, В. М. Марусева, В. Ю. Кулемин. Цифровые двойники и цифровая трансформация предприятий ОПК // Оборонная техника. 2018. № 1. С. 6-33.
- К. Рапоза. China Wage Levels Equal To Or Surpass Parts Of Europe. <https://www.forbes.com/sites/kenrapoza/2017/08/16/china-wage-levels-equal-to-or-surpass-parts-of-europe/#31a7b0f13e7f>.
- China Average Yearly Wages in Manufacturing – Forecast. <https://tradingeconomics.com/china/wages-in-manufacturing/forecast>.
- India Wages High Skilled. <https://tradingeconomics.com/india/wages-high-skilled>.
- What will happen to China's economy if manufacturing companies move from China to India? <https://www.quora.com/What-will-happen-to-Chinas-economy-if-manufacturing-companies-move-from-China-to-India>.
- R&D centres in India account for 33% of global services market, says Zinnov study. <http://www.thehindubusinessline.com/info-tech/rd-centres-in-india-account-for-33-of-global-services-market-says-zinnov-study/article6446526.ece>.
- А. И. Боровков, Ю. А. Рябов. Перспективные направления развития передовых производственных технологий в России // Отв. ред. Е. Ясин // Сборник «XVII Апрельская международная научная конференция по проблемам развития экономики и общества». В 4-х кн. М.: НИУ ВШЭ, 2017. С. 381-389.
- А. И. Боровков, Ю. А. Рябов. О дорожной карте «Технет» (передовые производственные технологии) Национальной технологической инициативы // Трамплин к успеху. 2017. № 10. С. 8-11.
- J. T. Vesey. The New Competitors: They think in terms of 'speed-to-market' // The Executive, 1991. Vol. 5. № 2. P. 23-33.
- А. И. Боровков, В. М. Марусева, Ю. А. Рябов, Л. А. Щербина. Бионический дизайн. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015.
- S. Estefan. The democratization of technology. <http://www.isaca.org/Knowledge-Center/Blog/Lists/Posts/Post.aspx?ID=330>.
- И. Г. Дежина, А. К. Пономарев, А. С. Фролов и др. Публичный аналитический доклад по направлению «Новые производственные технологии». Сколтех, 2015. <https://www.extech.ru/files/reports/new%20technologies2015.pdf>.
- Национальная технологическая инициатива (НТИ). <http://fea.ru/compound/national-technology-initiative>.
- CDIO The CDIO™ INITIATIVE is an innovative educational framework for producing the next generation of engineers. <http://www.cdio.org>.
- CDIO (Conceive–Design–Implement–Operate). <http://web.mit.edu/edtech/casestudies/cdio.html>.
- История CDIO. <http://cdiorussia.ru/history>.
- CDIO Members. <http://www.cdio.org/cdio-members>.
- J. Tarnoff. STEM to STEAM – Recognizing the Value of Creative Skills in the Competitiveness Debate. Huffington Post. 2011. http://www.huffingtonpost.com/john-tarnoff/stem-to-steam-recognizing_b_756519.html.

World technology agenda and global industrial trends in the digital economy

A. I. Borovkov, PhD, professor, vice-rector for advanced projects, Peter the Great St. Petersburg polytechnic University.

L. A. Shcherbina, head of department, SPbPU Computer-aided engineering centre of excellence, Peter the Great St. Petersburg polytechnic university.

V. M. Maruseva, master's student, Technical university of Munich.

Yu. A. Ryabov, PhD, head of technology and industry foresight department, SPbPU computer-aided engineering centre of excellence, Peter the Great St. Petersburg polytechnic university.

This article examines global trends in industry development, the most important of which is the transition to the Fourth Industrial Revolution. The authors focus on global challenges faced by high-tech companies, including the increase in complexity of final products and processes, reduction in time-to-market, customization, rapid technology development, obsolescence of engineering and technological competencies, etc. The development and application of the whole complex of advanced manufacturing technologies can be a possible answer to these challenges. To achieve a long-term competitive market advantage, it is necessary to create the systems of complex technological solutions that ensure the creation of «best in class» products in the shortest time possible. These technological solutions can be called Digital, Smart, Virtual Factories of the Future. The authors stress that Digital Factories enable Russia to be competitive as the world's «Digital Design Bureau» and capitalize on global competition's center of gravity shifting toward the design stage, which is a deep structural change in the high-technology industry.

Keywords: digital economy, advanced manufacturing technologies, smart digital twin, factories of the future, competitiveness.