

Кибер-физические системы как основа цифровой экономики

В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, С.А. Сиягов

Аннотация—Статья является продолжением рассмотрения практического применения элементов цифровой экономики. В работе идет речь о таких новейших технологиях, как системы информационного моделирования (BIM), интернет вещей (IoT), и других, составляющих собой к настоящему времени понятие Интеллектуальной (Smart) системы. Основное внимание в работе уделяется кибер-физическим системам. Эти системы соединяют физические процессы, например, управления передачи и распределения электроэнергии, требующие практической реализации непрерывного управления в режиме реального времени, с программно-электронными системами.

Ключевые слова—Кибер-физические системы, цифровая экономика, Индустрия 4.0, Интернет вещей, Умные системы.

I. ВВЕДЕНИЕ

Первый опыт построения систем цифровой экономики, связанный с технологиями информационного моделирования знаний (Building Information Modeling – BIM), оказался крайне положительным и принес довольно удивительные, с точки зрения старых экономических законов, результаты, когда одновременно удалось достичь сразу четырех положительных параметров в развитии строительной индустрии Великобритании [1]. Дополнительным результатом стала начавшаяся после этого консолидация исследований и разработок вокруг других разрабатываемых тем. Одной из ключевых стала тема кибер-физических систем (CPS).

Суть кибер-физических систем в том, что они соединяют физические процессы производства или иные другие процессы (например, управления передачи и распределения электроэнергии), требующие практической реализации непрерывного управления в режиме реального времени, с программно-электронными системами [2]. Можно сказать, что эта новая редакция определения встроенных систем. На новом витке развития от рассмотрения встроенных систем как отдельных компонент, решающих частные

задачи, перешли к их представлению как основы всего процесса. В этом процессе ключевыми становятся проблемы временной синхронизации огромного числа разнообразных электронных устройств с целью достижения экономически оптимальных результатов функционирования. Последние справедливо не только для производств, но и для многих систем, функционирующих в составе Smart City, например, энергетики. Кроме энергетических систем городов, это важно для управления водоснабжением, интеллектуальными транспортными системами, умными домами и т.п. Необходимо понимать, что требования синхронной работы кибер-физических систем распространяются на всю систему, что диктует требования к системе связи (беспроводные сенсорные сети, проводные сети и смешанные системы передачи данных), которая к тому же должна быть двухсторонней для передачи сигналов воздействия на физические объекты. Часть решение в таких системах заранее создается по принципу встроенных и в узлах этой сети можно обнаружить встроенные системы управления базами данных (СУБД) или гео-информационные системы (ГИС) – системы, которые функционируют как локальные информационные системы реального времени. Это позволяет устранять «узкие места» в системе. Встраивание применяется и для решения иных задач и, в том числе, безопасности.

Естественно, что сообщения от сотен тысяч (или миллионов) устройств должны быть аккумулированы в центрах обработки, отсортированы по важности и приоритету, другим показателям с целью автоматической выдачи реакции на то или иное сообщение или группу сообщений. Часто требуются более широкие знания для оптимизации экономико-технических показателей системы. В силу объемов обрабатываемых данных здесь естественным образом появляются решения, относящиеся к разделу Big Data [3]. Требования к ним ровно такие же, как и ко всем составным частям системы – синхронная работа в реальном режиме времени. Именно CPS системы стали причиной бурно роста интереса именно к обработке больших объемов данных в реальном времени. Это очевидный тренд в области Big Data [4]. Необходимо отметить, что далеко не все системы цифровой экономики столь критичны к синхронизации и реальному времени. Цифровая медицина в части терапии требует иного подхода к реализации Big Data, и об этом мы поговорим позже.

В сентябре 2015 года NIST опубликовал проект

Статья получена 17 января 2016.
Куприяновский Василий Павлович, МГУ имени М.В. Ломоносова, Экономический факультет, (email: vpkupriyanovsky@gmail.com)
Намиот Дмитрий Евгеньевич, МГУ имени М.В. Ломоносова, (email: dnamiot@gmail.com)
Сиягов Сергей Анатольевич, ФГУП РСВО, (email: ssinyagov@gmail.com)

рамочной на 227 страницах программы для кибер-физических систем для публичного обсуждения. Приведем цитату из введения (сам документ может стать предметом технического анализа российских групп из образованных комитетов по стандартизации) относящейся к нашей теме [5]:

«Кибер-физические системы (CPS) – это умные системы, которые включают интерактивные инженерные сети из физических и коммуникационных компонент. CPS и связанные с ним системы (включая интернет вещей (IoT) и промышленный интернет) являются общепризнанными инструментами, имеющими огромный потенциал внедрения, создающий пути реализации инновационных приложений, которые оказывают огромное влияние на множество секторов мировой экономики. В числе этих секторов NIST указывает в первую очередь на промышленность, транспорт, энергетику и здравоохранение.»

Цитированный выше документ открыт для обсуждения всеми (Версия 0.8). После включения пожеланий и замечаний будет выпущена для обсуждения версия 0.9 и только после этого будет выпущена первая версия национального стандарта 1.0. Приблизительно в то же время NIST выпустил аналогичные документы по Big Data как в рамках концепции CPS, так и вне ее и они так же имеют аналогичные организационно-временные рамки и доступны к обсуждению.

Концепцию CPS приняли ведущие эксперты Европы, Японии, Южной Кореи, Индии, а после подписания в октябре 2014 года соглашения о включении в дорожную карту Германии по Индустрии 4.0 [6] - Китая и китайские эксперты. Стоит очень внимательно проанализировать упомянутые документы и российским экспертам. По разным оценкам, переход на принципы CPS займет от 5 до 7 лет и может привести к удвоению ВВП наиболее удачных стран и их существенному технологическому отрыву, как в объемах производства, так и производимом продукте. Речь не только о самоуправляемых автомобилях или других броских темах, но даже традиционный текстиль, с включенными в ткань устройствами IoT, приобретает совсем иные потребительские свойства [7]. В данной статье мы попытались свести факты из очень разных источников, чтобы проиллюстрировать тот факт, что CPS уже активно внедряется и далеко не первый год и, как обычно, его стандартизация будет простым признанием состоятельности CPS и, в первую очередь, в экономическом плане.

II. О ВНЕДРЕНИИ CPS

Для этого мы взяли примеры из собственно производственной практики (новые заводы или умная мануфактура – SM), Авиационной индустрии и Умных городов (Smart City), выделив роль CPS и связанных с ним технологий Big Data, IoT, PLM, BIM, GIS и др. Одной из ключевых технологий в этом списке является

Big Data, и многие эксперты даже считают ее измерением успешности цифровой экономики.

В тексте опубликованных в апреле 2015 года нескольких томов проектов стандартов NIST по Big Data [8] содержится очень много полезной информации, обобщающей мировой опыт и работу лидирующих организаций по стандартизации. В частности, выделено использование механизмов Big Data для: розничной торговли, здравоохранения, кибер-безопасности, правительства (военные применения и образование), индустрии (и, в частности, авиации), транспорта (в части логистики), управления инженерными, инфраструктурными и иными проектами, управления работающими на новых цифровых производствах и др. На наш взгляд, эти документы представляют особый интерес и потому, что в них описываются все элементы системы для их управления через данные из Big Data и, в частности, сенсоров и иных устройств IoT, инженерных систем, систем связи и т.п., из коих, собственно, и состоят CPS.

Поскольку к каждому документу, опубликованному NIST, приложен временной график появления стандартов, то можно ожидать появления первых версий национальных стандартов США в 2016 как на тему Big Data, так и на тему CPS. Вместе эти стандарты определяют многие параметры интернета вещей. Поскольку эта работа проходит в тесном взаимодействии с международными организациями по стандартизации и в частности ISO то можно ожидать начала процесса появления международных версий этих стандартов для обсуждения так же в 2016 году. Представляется, что России, крайне необходимо принять самое активное участие в этом процесс.

Исследования в Европе по стандартизации CPS так же интенсивно развиваются как на общеевропейском уровне, так и национальном. В этом ряду исследований особо хотелось бы отметить фундаментальные исследования ACATECH – немецкой академии науки и инженерии. ACATECH [9], созданная в 2008 году, гораздо позже, чем британская Royal Society, французская Academie des Science или шведская Royal Swedisch Academy of Sciences сумела занять позицию независимой организации, реально представляющей интересы немецких технических специалистов, как в самой Германии, так и вне ее. К несомненным успехам деятельности этой академии стоит отнести как создание концепции Индустрии 4.0, ее развитие и широкое признание на международной арене. К несомненным успехам на этом пути стоит отнести официальное подписание о вхождении Китая в выполнение дорожной карты немецкой Индустрии 4.0, что уже привело к созданию совместных зон реализации по этому направлению или соглашение с Великобританией 2015 года.

Собственно первая книга по CPS была выпущена ACATECH (практически все они выпускают как Интернет-издание в форме e-book, что упрощает доступ к этой литературе) в виде принципиальной позиции в 2011 году [10], а чрезвычайно подробный документ по этому вопросу вышел уже в 2015 году [11]. Оба

приведенные источника иллюстрируют ранее высказанную авторами мысль о неразрывной связи CPS и цифровой экономики очень подробно и детально. Невозможно привести все публикации ACATECH, которые на наш взгляд, может быть в силу «молодости» ACATECH, малоизвестны российским исследователям, однако мы искренне рекомендуем с ними познакомиться. В этих исследованиях можно найти очень добротные труды по многим направлениям цифровой экономики, тем более в последнее время может быть в связи с резко выросшей международной активностью Германии и ACATECH в частности, почти все свои работы академия публикует на английском языке. Отсылаем читателя к двум в этом плане крайне примечательным публикациям о Германно-Индийском сотрудничестве, которые служат отличным примером международной кооперации и использования потенциалов двух стран в новых направлениях. Первая из них собственно о сотрудничестве при создании IT систем [12], а вторая это специальное исследование для Индии «Industry 4.0 и городское развитие. Возможности реализации в Индии» [13]. Нам так же представляется что книга ACATECH об умном сервисе [14] также поможет читателю дополнить картину идей, излагаемых в данной статье. Собственно говоря, интегральный вывод из сказанного выше практически один CPS это база Industry 4.0.

Индия очень серьезная в плане IT страна, но пока еще не так индустриализована как Китай. Для иллюстрации того, как практически работает это сотрудничество на практике, мы выбрали корпоративный журнал Huawei, № 2 от 2015 года, который целиком посвящен данному предмету [15]. Также отсылаем читателя к официальному журналу торгово-промышленной палаты Германии в Китае № 1 от 2015 года [16] в нем на 100 страницах описывается, что делается партнерами в зоне экономического и технологического развития Pinghu, которая расположена недалеко от локомотива экономического развития Китая – Шанхая. Вернемся к публикации Huawei. Собственно стоит ли говорить, что Huawei - частная компания и лидер ИТС Китая? Собственно тут необходимы пояснения терминам и истории вопроса. В 2011 году программу индустриального интернета под названием Advance Manufacturing Program начал американский президент Обама. Позже Южная Корея запустила аналогичную правительственную программу, и Германия тоже начала известную программу Industry 4.0 с решения правительства, вслед за этими двумя программами. Дальше каждая страна выбирает, как ей двигаться. Например, Швейцария присоединилась к немецкой Industry 4.0. Китай в октябре 2014 года на уровне правительства присоединился к Германии к их утвержденной в 2014 году дорожной карте по Industry 4.0.

Итак, поэтому такое название теперь принято официально в Китае. Далее, собственно говоря, в журнале речь идет в головной статье о ключевых понятиях и подходах класса CPS, и, в частности, в привязке к стандартизации и работам IEEE, NIST,

ACATECH. По этим полу-стандартам пока производство разбивается на рабочие группы “соединяется то, что никогда ранее не работало вместе”. Производственные единицы свободно общаются между собой в рамках группы, выполняя само-оптимизацию и достигая оптимальных и качественных результатов при минимизации стоимости.

Понятно, что это не в полной мере полностью “умная” фабрика (SM), но вполне достижимый с практической точки зрения результат, если мобилизовать необходимый финансово-организационный и интеллектуальный потенциал. Такая задача, естественно, междисциплинарная и комплексная, и ее не решить силами только IT специалистов. Собственно, это в журнале и обсуждается с присущей китайцам практичностью. Есть и формальная часть Huawei - это открытие по этой тематике центра в Мюнхене. Центр существует уже давно, и речь идет, скорее, о его модернизации и программе развития компании в этом направлении. Этому и посвящены статьи, показывающие, что в этой программе есть, и с кем они ее собираются делать.

Интересно, что вторая статья после передовицы - это британская от BBC (что не удивительно, зная о межправительственном соглашении Китая и Великобритании по локализации британских стандартов в Китае). Но статья очень интересная и про микрогриды. Показана фантастическая экономия денег в 15% от платежа домовладения при применении этого подхода. Немцы в лице SAP это третья статья о том, что HANA одна из лучших платформ для предприятия внедряющего Industry 4.0. и IIOT, соответственно. Интересен также пример из строительной индустрии - по организации работы стройплощадки.

Видимо Accenture - это традиционный партнер Huawei и у него своя статья. Однако наиболее интересны, собственно, статьи китайских сотрудников компании. Как они практически планируют двигаться? На первых порах компания запускает линейку гибких продуктов в этой тематике на базе Open Source (видимо, как и везде, будет сделана ставка на небольшие компании в классе IIOT, которые уже сейчас делают 85 % рынка приложений в IIOT). Понятно, что Huawei задействуется и старый потенциал LTE и новый продукт 5G.

Собственно связь с промышленностью развивается в трех направлениях

- сетевая энергетика. Это традиционный для компании Smart Grid и менее традиционный, но уже присутствующий в британско-китайских стандартах micro-grid;

- автомобилестроение. Тут заключено соглашение с китайской же компанией Dongfeng. В нем приведены амбициозные планы построения автомобильного интернета (IOV);

- металлургия. Компанией подписано соглашение с ArcelorMittal о совместном движении в этом направлении. Хотя это соглашение и с местной частью международной компании, но оно явно дает выход на индийскую часть этого процесса (это развитие умных

производств в Индии даже заслужило отдельного отчета IDC - лучшего в теме ИТС);

-промышленность.

Завершается выпуск статьей известного американского экономиста Jeremy Rifkin /посвященной влиянию этого процесса на экономику собственно Китая.

III. ИСТОРИЯ CPS

Термин «киберфизические системы» предложила в 2006 году Хелен Джилл, в то время директор по встроенным и гибридным системам в Национальном научном фонде США, желая подчеркнуть отличительную особенность организованного ею семинара NSF CPS Workshop. Устроители пытались пересмотреть роль встроенных систем, и это им удалось — они уловили общую тенденцию, а уже через пару лет началось стремительное развитие CPS, и прогресс в этом классе систем был признан одним из наиболее важных направлений технического развития в США, а чуть позже и в Европе. Все это практически совпало по времени с кризисом 2008 года, и выход из него востребовал не только технические, но организационно-финансовые решения.

Так, как одним из самых важных достижений последнего времени эксперты в области экономики и финансов считают принятие в США в 2009 году закона под названием «Рикавери акт». Он, с одной стороны, позволил финансировать проблемные компании с последующим возвратом кредитов с процентами в казну, а с другой стороны, открыл удивительные возможности финансирования инновационных направлений в экономике. Позже такого рода законы были приняты в нескольких странах, которые сегодня лидируют в переходе к цифровой экономике. Одна из этих стран – Великобритания, о которой мы уже упоминали выше. Этот же закон существенно изменил и положение университетов, их исследовательских возможностей и систем обучения. Образовательные институты оказались не только вовлечены в большинство процессов цифровой экономики, но оказались чрезвычайно востребованы при подготовке и реализации правительственных решений. И причина этого в невероятно огромном количестве новых специалистов, затребованных рыночной цифровой экономикой и исследователей.

Руководствуясь оценками в основном университетских экспертов, администрация первого президентского срока Барака Обамы включила киберфизические системы в приоритетный список инноваций, а после его переизбрания полученные результаты позволили активизировать эти работы. В 2013 году была утверждена следующая очередь программы президентского инновационного партнерства Presidential Innovation Fellows, цель которого состоит в установлении связей между бизнесом и академическим сообществом, — среди девяти приоритетных

направлений присутствует и CPS. Это свидетельствует о том, что развитие CPS критически важно с точки зрения национальных интересов, и в первую очередь создания новых цифровых производств с невиданной ранее экономической эффективностью. Речь идет о возможности удвоения ВВП за очень короткий период времени порядка 5-7 лет. Цифровые производства в той или иной степени уже функционируют и, на базе точечного практического опыта, и делаются эти расчеты.

Для того, чтобы понять как далеко уже продвинулись практические реализации принципов цифровой экономики CPS, IOT, BIG DATA, Smart City, PLM, GIS посмотрим что сегодня пишет и предлагает в проектно-инженерных решениях такая сугубо строительная компания как ARUP один из признанных мировых лидеров в своем деле, которая реализует проекты в 160 странах мира.

Компания Arup, основанная в 1946 году Сэром Уве Арупом, является международной компанией в области планирования, проектирования, архитектуры, инженерного дела и бизнес-консалтинга. В настоящее время это одна из крупнейших и наиболее успешных проектных консультационных компаний в мире, насчитывающая более 11 тыс. сотрудников, работающих в 90 отделениях в более чем 40 странах. Arup активно работает в России с 1989 года и имеет постоянное представительство в Москве с 1994 года. За 70 лет своей истории компания Arup работала над более чем 10 тыс. проектов по всему миру, ремонтируя, реконструируя, восстанавливая, реставрируя и придавая новую энергию и ценность зданиям.

ARUP издает довольно большое количество электронных книг, очень хорошо иллюстрированных. Первую книгу с названием «Smart City» она выпустила в 2010 году с подзаголовком «трансформация городов в 21 веке через креативное использование технологий» [17], а в 2015 году уже вышла книга совместная с Qualcomm (один из мировых лидеров в области связи). Именно этот тип связи правительство и премьер министр Великобритании считают базовой для обеспечения всех потребностей цифровой экономики страны с очень примечательным названием «Разумные соединения для обеспечения бесшовной городской мобильности» [18]. В изданных такого рода книгах имеется целая серия с общим словом в названии «будущее». Среди них – железные дороги, автомобильные дороги, библиотеки, музеи, университетские городки, места жизни и работы людей и т.п. [19-21]. Для иллюстрации темы CPS можно также посмотреть книгу [22], потому что она характерна очень большим количеством примеров уже построенных зданий для производств цифровой экономики с той или иной степенью реализации подходов CPS. Собственно это завод BMW в Южной Каролине в США, производства Volkswagen, Siemens, Boeing и многих других. Исследовательские корпуса по «умной промышленности» университетов то же среди реализованных проектов. ARUP – успешная коммерческая компания и, следовательно, на все эти

разработки уже есть спрос, и он только увеличивается! Есть и вторая сторона этого явления: никакие структурные «умные» решения просто невозможны без проектных и строительных преобразований. А так иногда трудно поверить, что это работы проектно-строительной компании.

Еще одним подтверждением уже давно идущего процесса реализации принципов CPS и SM являются каталоги многих компаний, производящих сенсоры для промышленности. Из их множества мы выбрали немецкую компанию Sick. Причиной было то, что они уже в 2012 году сгруппировали каталоги в книги, из которых можно отметить две: «Эффективные решения для автомобильной промышленности, включая организацию снабжения комплектующими» и «Эффективные решения для производства шин». Собственно эти две книги предлагают комплектацию целиком и полностью для управления в терминах CPS и SF заводами в части исходных умных сенсоров. Отметим, что это уже то же фотографии построенных заводов, как и у ARUP, и выпуск книг-каталогов 2012 [23, 24]!

Однако было бы ошибочно считать нынешнюю эпоху только информационной. Как информационная, эта эпоха растянулась лет на 40–50. Ей предшествовала индустриальная эпоха, начавшаяся с промышленной революции в Англии в конце XVIII века, но как бы ни было велико значение ИТ, эти технологии сами по себе не производят разнообразных материальных сервисов — всего того, что в конечном итоге составляет среду обитания человека. Произошли и происходят инновационные изменения в химических технологиях, материалах, нано-технологиях и других направлениях инноваций, изменяющих саму суть производственного процесса и, что не менее важно, в процедурах последующего использования полученных продуктов. Ранее именно экономика, а не смена воротничков с синих на белые в сочетании с переносом общественного внимания на индустрию информации и знаний не сократила производство, а всего лишь перенесла его в страны третьего мира. В итоге США и Европа накопили достаточный инновационный потенциал, чтобы вернуть себе производственное лидерство, начав процесс, обратный аутсорсингу, но на качественно ином уровне — и CPS позволяют решить эту задачу. Но, разумеется, область действия CPS гораздо шире, эти системы позволяют стать технологическим элементом качественно новых частей цифровой экономики - здравоохранения, транспорта, энергетики, умных городов и многого другого. По оценкам многих экспертов именно системы, построенные на базе CPS, уже стали основой цифровой экономики, и будут выступать ее локомотивом. При этом важно подчеркнуть эволюционность внедрения новых процессов, несмотря на уже фантастическую скорость изменений.

В этом плане предшественниками CPS можно считать встроенные системы реального времени, распределенные вычислительные системы, автоматизированные системы управления техническими

процессами и объектами. Дополненные беспроводными сенсорными сетями, способными работать в промышленной среде, сенсорами, ставшими объектами интернета вещей, моделями данных, а также бизнес и производственных процессов, CPS стали системами, состоящими из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое. В CPS обеспечивается тесная связь и фактическая слаженная работа по вариативным сценариям между вычислительными и физическими ресурсами. Область действия CPS распространяется на робототехнику, транспорт, энергетику, управление промышленными процессами и крупными инфраструктурами. Создание новых поколений систем CPS в перспективе приведет к гораздо большим изменениям, чем появление интернета. Киберфизические системы интегрируют в себе кибернетическое начало, компьютерные аппаратные и программные технологии, качественно новые исполнительные механизмы, встроенные в окружающую их среду и способные воспринимать ее изменения, реагировать на них, самообучаться и адаптироваться. Ключевым в CPS является модель, используемая в системе управления, — от того, как она соотносится с реальностью, зависит работоспособность киберфизической системы. Реальность мира так же реализуется в виде моделей и данных ее наполняющих. Уже сегодня это не просто трехмерная картина зданий и сооружений и земной или подводной поверхности — это уже многомерное представление, доходящее до десятков измерений. Для создания систем, способных работать в реальном мире, нужна новая дисциплина — проектирование моделей (model engineering). Необходимо понять и новую идеологию жизненного цикла производства и его продуктов известную как PLM. И тут строительная информационная модель (BIM) объединяется с производственной информационной моделью (PLM), образуя совершенно новое качество, которое и отразил в своих книгах ARUP. Меняется и само понятие встроенности, как в самом производстве, так и в финальном продукте. Приведем только два примера. Под встроенностью в производственные узлы уже понимается, например, встроенность программного обеспечения в электронику, а сами готовые продукты могут быть симбиозом текстиля и сенсоров (smart textile). Область приложения CPS естественным образом разбивается на следующие основные сегменты: умное производство, умные сети и услуги, умные здания и инфраструктуры, умный транспорт и умное здравоохранение, умные города и т.п.

Главная составляющая умного производства (Smart Manufacturing, SM) — это управляющий им производственный интеллект (Manufacturing Intelligence, MI). Еще совсем недавно под MI понимали только программное обеспечение, превращающее данные в знания, необходимые для менеджмента, а сейчас MI видится шире — как совокупность всех возможных средств автоматизации управления (отчетных и аналитических инструментов, разного рода пультов

управления автоматизированных технологий) в сочетании с робототехникой, аддитивными и другими современными технологиями. Например, по американским представлениям и 3D принтеры и дроны – часть интернета вещей и уж точно предмет CPS. Но самое главное, как вообще во всей цифровой экономике, это возможности работы с информацией обобщенно называемые Big Data.

Умное производство (Smart Factory- SF) состоит из модульных блоков, объединенных общим управлением и временем. Но на самом деле, самое существенное - это общая информация, которую сегодня называют энергией, электричеством, нефтью 21 века. Именно многократное и совместное использование информации, ее прямое участие в наполнении знанием и достоверными данными с их аналитической и иной обработкой и есть основание цифровой экономики. Такие системы во многом самоуправяемы — они могут оценивать состояние окружающей среды, обнаруживать и исправлять ошибки — например, реагировать на износ оборудования. Статистика показывает, что только переход от плановых ремонтов к ремонтам по состоянию дает 40% сокращение ремонтных затрат. SF позволяет оптимизировать все производство, прежде всего за счет создания единой системы, в которой машины могут обмениваться данными между собой в режиме реального времени. Это включает обмен между оборудованием, расположенным непосредственно на производственных площадях и в логистической цепочке, включая бизнес-системы, поставщиков и потребителей; передача сведений о своем состоянии обслуживающему персоналу, что позволяет еще значительно сократить расходы. При этом производственное оборудование, получая сведения об изменившихся требованиях, может само вносить корректировки в технологический процесс. Эта адаптивность производства в реальном масштабе времени так же основана и на технологиях Big Data, которые не только должны содержать данные необходимые для такой адаптации, но так же должны быть системами реального времени. Изменяется и роль правил и стандартов. Они фактически начинают играть роль описаний конечного автомата, действуя по правилу “если то”. Появляются и возможности считать KPI в реальном времени

Реализации SF согласуется с общими тенденциями нынешнего века, которые можно наблюдать в промышленности. Выживают те производства, которые способны гибко реагировать на рыночные изменения или реализовать массовое производство по индивидуальным заказам при цене массовых изделий, ибо именно конкретный потребитель и стоит в центре цифровой экономики. Большим подспорьем к этому является аддитивное производство (Additive Manufacturing), которое развивает идеи 3D-печати для выпуска готовых изделий. С одной стороны, оно лучше соответствует требованиям массовой кастомизации, чем существующие технологии, а с другой — его можно полностью автоматизировать и связать в единый процесс проектирования и производства, получив прямое производство (Direct Manufacturing), являющееся

частью SF. Последнее позволяет разносить разработку изделий и производство фактически между континентами. В строительных проектах, после создания BIM среды или информационного моделирования, такая ситуация давно уже стала штатной. Это изменяет и привычные представления об отношениях проектирования и производства. Они постепенно в ряде случаев разделяются друг от друга, выстраивая рыночные отношения по поиску наиболее выгодного для производства проекта или наиболее выгодного для проектирования производства. Последнее не только быстрее выводит новые товары на рынок, но и существенно влияет как на снижение цен на продукты, так и на повышение прибыльности, иллюстрирую высказанный ранее тезис о достижении одновременно многих целевых экономических показателей, что было невозможно в условиях парадигмы индустриальной эпохи.

IV. CPS и ЭКОНОМИКА

Сегодня стало подавляющим мнение о неизбежности цифровых преобразований практически во всех сферах жизни и экономики. Терминологически это звучит как "цифровое преобразование". Есть его технические характеристики типа: процессы реального времени, визуализация, процессы, управляемые данными, IoT, CPS, Big Data, Wireless и т.п., но это инструментальный набор для того, чтобы достигнуть какой-то цели. И основная позиция - ЭКОНОМИКА. Рассмотрим это на примере авиационной отрасли. Сколько можно выиграть в случае сокращения расходов топлива в авиации на 1 % или как эффективно работать с электронными билетами? Труд Cap Gemini (ITC компания с численностью более 100 000 человек) совместный с GE (General Electric с инвестициями в тему IoT порядка 3 млрд. долларов в год). Этот очень короткий документ [25] чрезвычайно похож на объявление своих позиций для клиентов и на обложку огромными буквами вынесено INTERNET OF THINGS (что удивительно для главного апологета промышленного интернета). Сам документ называется "Становимся цифровыми: GE и цифровая трансформация".

Далее первый подзаголовок - "Готовимся к цифровому шторму". Уже сегодня GE мониторит 50 млн. элементов данных с 10 млн. сенсоров или 1 трл. единиц информации в день без временных задержек в реальном времени. В документе приводятся данные о том, что дает экономия 1 % от затрат по отраслям в год и первая позиция в таблице авиакомпаний - 2-3 млрд. дол. (это стиль цифровой экономики приводить данные о финансово-экономических выгодах того или иного технического решения).

Собственно и цель GE так же объявлена - присутствовать программным обеспечением на всех этапах жизненного цикла и как они выразились поэтически "Мир станет жить на Android или iOS и GE хочет быть языком этого мира".

Все эти уже продаваемые услуги GE делает в

союзе с EMC (американский производитель технических средств хранения больших объемов данных) и Amdocs (израильско-американский производитель программного обеспечения для биллинга товаров и услуг). Замыкает эту боевую декларацию описание аналитических математических шестеренок, которыми собственно и высчитываются все эти проценты экономии. Агрессивная маркетинговая политика типа "Вы нам заплатите только из полученной экономии" замыкает этот жестко-аргументированный документ. Кроме всего прочего это еще и характерный пример нового маркетинга цифровой экономики. И мы не думаем, что GE будет один в этом поле. CAPEX, OPEX, которые считаются ежесекундно и дают управляющие воздействия на производственный процесс? Во многом, конечно, такая позиция GE основана на его роли в первую очередь производителя двигателей для самолетов, которые составляют порядка 80 % стоимости любого самолета. Ведь все остальное в авиации крутится вокруг главного рабочего инструмента – авиалайнера.

Бизнес собственно авиационных компаний это перевозки грузов и пассажиров. Как правило, они еще владеют базовыми аэропортами, у которых до 2-х десятков видов бизнеса, связанных с обслуживанием самолетов тех авиакомпаний, которые к ним прилетают (все стоит денег). К примеру, у Люфтганзы - это аэропорт Франкфурта (40% потребления авиатоплива Германии). Рассмотрим материал от малоизвестного у нас Artur D Little [26] о цифровых аэропортах. В нем собственно сказано, что сегодня уже актуально 4 поколение цифровых аэропортов. Далее не менее скучные экономические показатели - сколько в процентах выигрывают владельцы аэропортов от внедрения тех или иных элементов цифровых технологий и в чем роль аналитики и больших данных. Ну и конечно же APEX, CAPEX. Для более наглядной иллюстрации комплексности оборудования умными сенсорами современных аэропортов советуем посмотреть книгу-каталог уже упоминавшейся выше компании Sick с удивительным названием «Аэропорт с нами, все приземлится, где положено – грузовые самолеты и их груз, багаж, бортовое питание и вы сами»[27]. Это не просто книга, а книга-каталог для потенциального покупателя и иллюстрация уже реализованных в концепции CPS и SF проектов аэропортов. Необходимо отметить, что аэропорты не только являются составной частью самой мобильной части Smart City, но и сами по внутреннему устройству очень на них похожи. Возникшая не так давно концепция «Аэропорт как город» была несколько лет назад реализована на базе Пекинского аэропорта.

Из других материалов, описывающих, что происходит сегодня в авиационной индустрии мира и подтверждающих то, что высказано в данной статье, мы можем отметить аналитические материалы компании Oliver Wyman [28-31].

Эта статья подготовлена в рамках публикации серий работ по Smart Cities и IoT [32].

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Добрынин А. П. и др. Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 1. – С. 4-11
- [2] Wolf W. Cyber-physical systems //Computer. – 2009. – №. 3. – С. 88-89.
- [3] Lee J. et al. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment //Manufacturing Letters. – 2013. – Т. 1. – №. 1. – С. 38-41.
- [4] Namiot D. On Big Data Stream Processing //International Journal of Open Information Technologies. – 2015. – Т. 3. – №. 8. – С. 48-51.
- [5] CPS PWG Draft Framework for Cyber-Physical Systems Release 0.8 September 2015
- [6] Heng S. Industry 4.0: Upgrading of Germany's Industrial Capabilities on the Horizon //Available at SSRN 2656608. – 2014
- [7] Hu J. et al. A review of stimuli-responsive polymers for smart textile applications //Smart Materials and Structures. – 2012. – Т. 21. – №. 5. – С. 053001.
- [8] DRAFT NIST Big Data Interoperability Framework: Volume 4 April 2015.
- [9] Acatech
https://en.wikipedia.org/wiki/German_Academy_of_Science_and_Engineering
- [10] Cyber-Physical System. Driving force for innovation in mobility, healthy, energy and production. ACATECH 2011
- [11] Living in networked world. Integrate research agenda Cyber-Physical Systems (agenda CPS). ACATECH 2015
- [12] German Indian Partnership for IT Systems. ACATECH 2014
- [13] Industry 4.0 and Urban Development. The Case of India. ACATECH 2015
- [14] Smarch service weilt. Recommendations for Strategic Initiative web-based service for Busines. ACATECH 2015
- [15] ICT Insights. 02/2015 ISSUE 13, Huawei Enterprise
- [16] Ticker № 1. 2015 German Chamber
- [17] Cities S. Transforming 21st Century city via the creative use of technology //ARUP, London, September. – 2010.
- [18] Intelligent Connectivity for Seamless Urban Mobility. ARUP 2015
- [19] Museum in the Dugital Age. ARUP 2014
- [20] Future of Rail 2050. ARUP 2015
- [21] Future of Highway. ARUP 2014
- [22] Rethinking the Factory. ARUP 2014
- [23] Efficient solutions for the Automotive and Part Supplier Industries. 2012 SICK Sensor Intelligence
- [24] Efficient solutions for the Tire Industry. 2012 SICK Sensor Intelligence
- [25] Going Digital: General Electric and its Digital Transformation. Capgemini Consulting 2015
- [26] Digital Transformation on Airport Economics. ArthurDLittle 2015
- [27] AIRPORT with us, Everything lands where it belongs too – Airfreight, Baggage, in-board catering and Yourself. 2015 SICK Sensor Intelligence
- [28] Airline economics Analysis. Oliver Wyman 2014
- [29] Challenger For European Aerospace Suppliers. Oliver Wyman 2015
- [30] Stop the multibillion dollar delays. Oliver Wyman 2015
- [31] MRI Servey 2015. Turning the Tide. A wave of new aviation technology will soon hit the MRO industry. Oliver Wyman 2015
- [32] Намиот Д. Е. Умные города 2016 //International Journal of Open Information Technologies. – 2016. – Т. 4. – №. 1. – С. 1-3.

Cyber-physical systems as a base for digital economy

Vasily Kupriyanovsky, Dmitry Namiot, Sergey Sinyagov

Abstract— This article is a continuation of the review of the practical application of the elements of the digital economy. The paper deals with the latest technologies such as buildings information modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), and other components are so far the concept of Intelligent (Smart) systems. The main attention is paid to cyber-physical systems. These systems combine the physical processes, for example, control of transmission and distribution of electric power, requires a practical implementation of continuous control in real time, with a programmable electronic systems.

Keywords— cyber-physical systems, Digital Economy, Industry 4.0, Internet of Things, Smart Systems.