

Пятая ежегодная конференция ОЕЕ-2021 «Эффективное производство 4.0»,
(Москва, 2-4 февраля 2021, организаторы: ГК Цифра, Ростех).

«Тренд цифровизации: Цифровые Двойники для производства»

Архангельский В. Е.,
главный консультант центра компетенции
по цифровой трансформации
и импортозамещению ПО, ООО ААУК

Тезисы выступления на секции «Тренды цифровой трансформации». Выступление сосредоточено на раскрытии специфики Цифровых Двойников производственно-логистических процессов дискретного производства, обосновании актуальности и своевременности работ по этому направлению. Дана характеристика состояния тренда.

Сокращения

БП - бизнес-процесс.

ОПК - оборонно-промышленный комплекс.

ОУ, УС - объект управления, управляющая система.

ПС - производственная система.

ЖЦ - жизненный цикл.

ЦД- цифровой двойник.

ИКТ - информационно-коммуникационные технологии.

НТИ - национальная технологическая инициатива.

НПТ - новые производственные технологии.

СПбПУ - Петербургский политехнический университет Петра Великого.

1. Тренд технологии «Цифровых двойников» - постановка

1.1. Определение

Технология «Цифровых двойников» (ЦД) (Digital twins) относится к одному из важнейших трендов цифровой трансформации производства. Этот тренд характерен для мировой и отечественной сферы информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) для производства. Технология ЦД считается ключевой сквозной технологией для «Умного Производства» (Smart Manufacturing).

Смысл технологии ЦД кратко можно определить таким образом: виртуальное представление сущностей и процессов реальной производственной системы, а также механизм, с помощью которого сущности виртуального и реального мира синхронизируются. ЦД должен характеризоваться высоким уровнем подобия виртуального и реального мира, отвечающим назначению ЦД.

1.2. «Цифровые двойники» в России

В России технология ЦД развивается в рамках технологии «Новые Производственные Технологии» (НПТ), которая входит в федеральный проект «Цифровые технологии» национальной программы «Цифровая экономика».

Технология ЦД в России представлена достаточно авторитетно. Главный игрок - центр компетенций Национальной технологической инициативы (НТИ) «Новые производственные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (Центр НТИ СПбПУ). Здесь была разработана дорожная карта по развитию НПТ. В июле 2020 года Центр стал членом консорциума по двойникам (Digital Twin Consortium, DTC), созданным Object Management Group (OMG). (https://fea.ru/news/75_94).

В Инжиниринговом центре CompMechLab СПбПУ отработана практика применения ЦД. Таким образом, можно говорить о сформированной в России научной и инженерной школы «цифровых двойников» международного уровня, лидером которой является Алексей Иванович Боровков - руководитель CompMechLab и Центра НТИ СПбПУ.

В январе 2021 г. специалисты Центра НТИ СПбПУ совместно с РФЯЦ-ВНИИЭФ представили для публичного обсуждения проект первой редакции национального стандарта ГОСТ Р «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники. Общие положения».

Хорошей информационной поддержкой для технологии ЦД является вышедшая в конце 2020 г. книга:



Прохоров А., Лысачев М. Научный редактор профессор Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 стр., ил. [<E:\Http\Files19\24174>, <https://fea.ru/news/7456>]

Таким образом, тренд есть, в упомянутой книге (с. 159-160) на кривой Гартнера он показан в области пика завышенных ожиданий. Правда, в этом тренде не выделена составляющая *дискретного производства*.

1.3. Двойники для Производственной Системы Предприятия

Детализация тренда ЦД представляет интерес с точки зрения перспектив применения ЦД к задачам проектирования и анализа Производственной Системы машиностроительного предприятия. Эти задачи решаются в контексте проектов модернизации и диверсификации производства, обновления средств управления производством.

Традиционные средства ERP, MES сейчас испытывают большое давление со стороны новых цифровых платформ, ландшафт классических ИТ адаптируются к новым требованиям и возможностям. При разработке и внедрении ЦД ПС возникает необходимость увязки требований к новым цифровым платформам, подобным Zyfra Industrial Framework (ZIF), со спецификой еще более новых ЦД, которые тоже строятся на платформенных принципах.

Главная задача ЦП ПС связана с построением и эксплуатацией оптимизированной ПС, в которой конфигурация производственных ресурсов сбалансирована с алгоритмами управления и с параметрами потока заказов. ЦД позволяет использовать виртуальную ПС для выполнения такой оптимизации, формировать виртуальное управляющее воздействие в ходе имитации функционирования ПС.

В полноценном двойнике ПС возникает необходимость при имитации использовать алгоритмы управления реальных систем, которые локализованы в ERP- и MES-системах и практически неотделимы от них. Сегодня с этим связаны проблемы: требуемый уровень интероперабельности не поддерживается ERP-, MES-, APS-системами. Обеспечение интероперабельности касается не только ERP и MES. Сложность в том, что требования к совместимости касаются уровня исполнительной семантики процессов, развернутых в пространстве и времени, поддержки режима виртуального планирования и исполнения производственной программы.

Разработка ЦД ПС затрагивает проблематику «цифровых моделей», унифицированных способов и языков описания операционной деятельности предприятия. Для целей управления ПС здесь требуются количественные модели со строго определенной исполнительной семантикой.

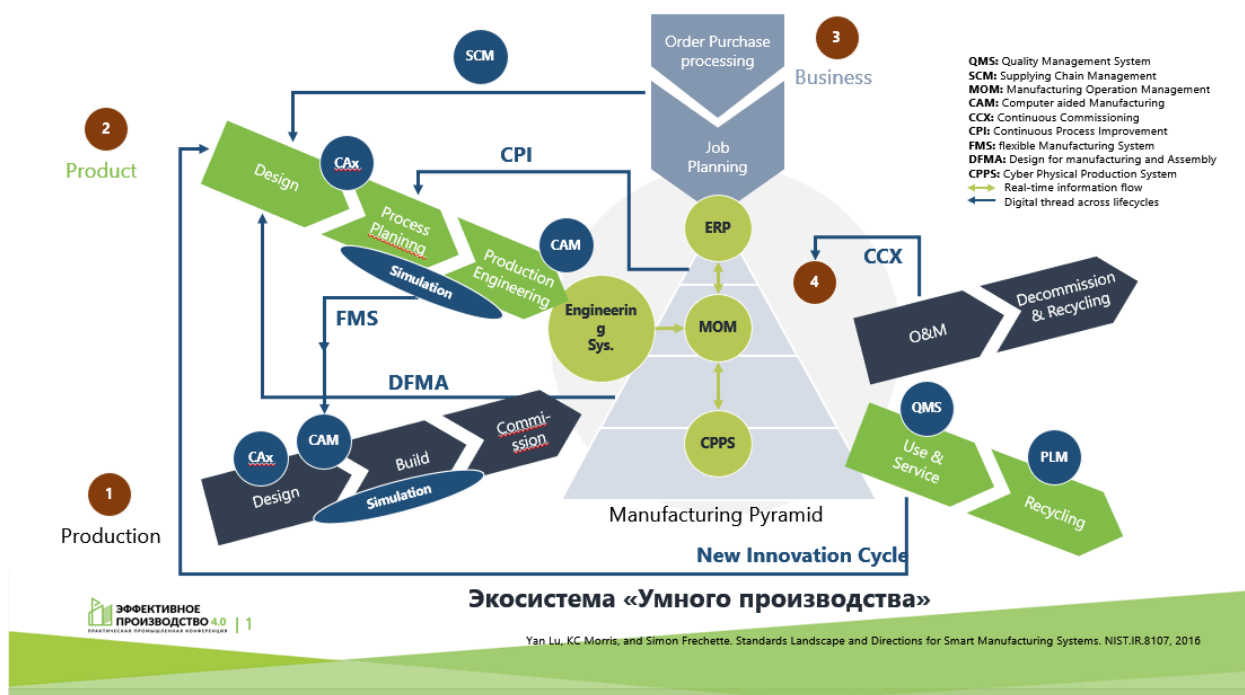
Из опыта разработки ЦД ПС следует, что инженеринговые задачи анализа и проектирования ПС должны рассматриваться в тесной связи с задачами управления и планирования производством. В этом проявляется специфика машиностроительных ОПК, с характерной для них многономенклатурности, мелкосерийности.

1.4. Предмет рассмотрения

Попробуем детализировать тренд «Цифровых двойников для производства» с точки зрения особенностей и потенциала развития применительно к дискретному машиностроительному мелкосерийному производству. Этот вид производства характерен для машиностроительных предприятий ОПК.

2. Структура тренда

Для более детального представления о том, как тренд ЦД проявляет себя в производстве, необходимо представить общую структуру ландшафта технологий Smart Manufacturing. Обратимся к наглядному представлению ландшафта на рис.:



Здесь ландшафт технологий представлен в виде линий жизненных циклов (ЖЦ) трех основных элементов «Умного Производства»:

1. Product (линия ЖЦ Продукта),
2. Production (линия ЖЦ ПС, Производственной Системы),
3. Business (линия ЖЦ Бизнес-Процессов, БП).

Область пересечения трех линий (4) характеризуется повышенной сложностью решения задач интеграции и обеспечения комплексности решений. Традиционно ее принято изображать «пирамидой» ERP-MES\APS-SCADA. Под влиянием новых цифровых технологий происходит сдвиг технологической парадигмы в этой области - от «монолитной пирамиды» к сетевой сервис-ориентированной архитектуре.

Схема на рис. позволяет более или менее наглядно позиционировать полный состав технологий.

3. «Двойники» для ЖЦ продуктов

Можно заметить, что наблюдаемое сегодня по публикациям, практическим работам и отраслевым проектам развитие тренда ЦД относится на рис. к линии (1) «ЖЦ Продукта» и тесно связано с PLM-проблематикой.

«Цифровой двойник» сегодня трактуется главным образом как цифровой двойник изделия (в фазах ЖЦ от проектирование до эксплуатации), а когда речь заходит о производстве (Smart Manufacturing), то вовлекается интернет вещей из области (4) и физические аспекты производственных технологий, напрямую влияющих на качественные характеристики изделий. При этом производственное предприятие в целом (линия (2) ЖЦ Производственной Системы (ПС) на рис.) воспринимается как внешняя данность с устоявшимися производственными возможностями.

4. Ограниченность сегодняшнего содержания Smart Manufacturing

Однако, предприятия проектируются и модернизируются, в их развитие и поддержание вкладываются значительные средства, в ОПК осуществляются проекты диверсификации. **И качество выполнения этих проектов определяет время выполнения производственных заказов и существенную составляющую цены продукции.**

Эти особенности ЖЦ ПС остаются за границами «Цифрового двойника изделия» - ведь линии ЖЦ Продукта и Производства пересекаются только в относительно коротком периоде времени - в период устойчивого функционирования ПС.

Правильно ли сегодня так узко определять содержание Smart Manufacturing?

5. «Двойники» для ЖЦ производственной системы

5.1. Специфика ПС как объекта моделирования

Посмотрим на линию (2) на рисунке. Назначение производственной системы (ПС) - трансформация продуктов из одной формы в другую, транспортная и складская логистика, управление поставками. Специфика ПС для машиностроительных предприятий ОПК (многономенклатурность, мелкосерийность) проявляется в том, что в один момент времени в производстве находится много разных изделий из разных заказов, с разными сроками выпуска готовой продукции. Для управления такими системами используется оптимизирующее ПО класса APS, MES.

Эффективность ПС определяется ее способностью обрабатывать входящий поток заказов, обеспечивая **надежно предсказуемые стоимостные и временные параметры исполнения заказов**. Естественно, эффективно — это значит быстро и недорого. Что значит недорого? С т.з. требований Индустрии 4.0 это значит - мелкосерийная заказная продукция по цене массового производства.

Задачи проектирования и анализа подобных систем (а они решаются постоянно в ходе модернизации и диверсификации) содержательно и вычислительно очень сложные. С самых общих позиций специфика ПС как системы проявляется в том, что она является *управляемой* системой. В теории систем и системном анализе управляемые системы принято представлять как композиции объекта управления (ОУ) и управляющей системы (УС).

С этим разделением связана разная проблематика и методы решения задач:

- с объектом управления связана проблематика описания производственных возможностей и мощностей методами онтологий и информационно-логического моделирования. Но для ЦД ПС также требуются унифицированные языки описания операционной деятельности с количественной исполнительской семантикой (в стеке технологий Умного Производства таких инструментов нет);
- с управляющей системой связана проблематика логики управления: алгоритмов управления и оптимизации. И здесь для ПС особые перспективы связаны с новыми инструментами искусственного интеллекта и машинного обучения. Но при этом возникает задача локализации алгоритмов управления в ERP и MES системах, обеспечение их интероперабельности, возможности легко подключать к действующему ПО новые алгоритмы управления, алгоритмы сильной оптимизации.

Итак, ОУ определяет область допустимого управления, УС реализует оптимизированное управление.

Упрощая, можно считать, что УС — это APS- или MES-система, формирующая команды управления, а ОУ — это исполняющая система, определяющая в форме Продукты-Процессы-Ресурсы производственные возможности предприятия.

Создание оптимальной ПС предполагает совместное проектирование УС и ОУ: оптимизируя состав и размещение оборудования ПС в части ОУ необходимо точно учитывать оптимизирующую логику управления в УС, ведь на одинаковой конфигурации оборудования при разных алгоритмах управления можно получить разные узкие места.

5.2. Критичность задач

С позиции требований Индустрии 4.0 задачи инжиниринга ПС очень важны, качество их решения во многом определяет эффективность производственных предприятий, и в конечном итоге влияет на цену изделий и сроки производства, на конкурентность продукции производства.

5.3. Необходимость новых решений

Проблематика ЖЦ производственной системы является частью новых производственных технологий (Smart Manufacturing). По зарубежным публикациям в области анализа и управления производственными системами для Индустрии 4.0 наблюдается нарастающая активность, явно прослеживается акцент на задачи управления и планирования, производственной логистики для цеха, завода, цепочек поставок в условиях Индустрии 4.0.

Но качественный переход от многих частных решений к общим методам пока не произошел. В общем составе методов явно не хватает ключевых компонентов.

Задачи проектирования и анализа современных и перспективных ПС — это содержательно и вычислительно сложные оптимизационные задачи, для которых в большей части нет универсальных моделей и математических методов. Но они необходимы.

5.4. Барьеры и возможности

Наличие барьеров открывает окно уникальных возможностей занять передовые позиции в разработке инструментов автоматизации для инжиниринга и управления ПС. Для машиностроительных предприятий

ОПК обычно используется импортное ПО типа Technomatics Plant Simulation (Siemens, Германия), системы имитационного моделирования (AnyLogic, Arena и пр.). Но даже лучшие образцы зарубежного ПО далеки от совершенства, когда речь заходит о специфике машиностроительных предприятий ОПК и указанных выше требованиях.

5.5. Нужны двойники

Для решения задач инжиниринга и управления ПС концепция цифровых двойников очень продуктивна, применимы многие принципы теории двойников, развиваемые научно-инженерной школой Боровкова А.И., есть готовые компоненты - системы мониторинга оборудования (АИС Диспетчер), предсказательная аналитика. Но есть существенные барьеры - для производственно-технологической системы (ПС) в целом отсутствует общепринятый аппарат моделирования, математические методы оптимизации ПС не удастся довести до широкого использования, перенос разработанных решений в другую производственную среду сопряжен с большими доработками.

Задачи развития и рационального использования производственных возможностей предприятий ОПК устанавливают повышенные требования к средствам автоматизации проектирования, модернизации и управления производственной системой заводов, требует большей адекватности в постановке и точности решения задач, комплексного подхода к инжинирингу и управлению производством.

Решение этих задач относится к новейшим технологиям, используемые инструменты дороги и несовершенны, необходима разработка новых методов, разработка и апробация программного обеспечения, разработка новых стандартов.

Резюме

В тренде «Двойников в производстве» можно выделить три составляющие - «Двойники продуктов», «Двойники ПС», «Двойники БП».

Первая составляющая тренда оформлена, ее развитие можно предсказывать, есть лидеры.

Вторая составляющая - «двойники ПС» - пока не проявила себя, но в ней скрыт большой потенциал развития. Места для лидеров свободны, сейчас определяются претенденты. В перспективе нескольких лет эта составляющая станет видимой, т.к. есть острая потребность - время производства и цена изделий д.б. конкурентны.

Третья составляющая не так значима, как первые две; в общем тренде малозаметна. Эта проблематика в основном локализована в Business Process Management (BPM), в топе трендов Smart Manufacturing она себя не покажет. Тем не менее, ее наличие характеризует полноту технологии двойников для производства, интеграция с двойником ПС увеличивает степень подобия двойника реальному объекту.