

КЛЮЧЕВЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В СМАРТ-ИНДУСТРИИ

Макарук О. Е.

Реферат

В статье рассмотрен процесс цифровой трансформации бизнес-процессов и бизнес-моделей промышленных предприятий на основе использования технологии цифровых двойников. Приведена классификация основных видов промышленных цифровых двойников, проведена оценка моделей использования цифровых двойников по уровню зрелости. Проведен обзор преимуществ использования цифровых двойников в смарт-индустрии на примере Брестской области.

Ключевые слова: смарт-индустрия, цифровые двойники, виртуальный прототип, Индустрия 4.0, оптимизация процессов.

Введение

В условиях стремительного ускорения технологических изменений непрерывно усложняется как конечный продукт, так и производственные процессы, а возрастающая скорость изменений приводит к быстрому устареванию любого набора инженерно-технических и технологических компетенций. В свою очередь, глобализация рынков, постоянно усиливающаяся глобальная конкуренция, применение наукоемких инноваций, появление сверхсложных научно-технических проблем требуют от промышленности ускорения темпов развития, предельно коротких циклов разработки, низких цен и высокого качества продукции. В отличие от предыдущих этапов, промышленная трансформация, происходящая в XXI веке, затрагивает практически все области производства, изменяя его структуру и векторы развития [16, 19].

Сегодня для поддержания высокой производительности труда, экономической эффективности и глобальной конкурентоспособности промышленности необходимым условием является цифровая трансформация бизнес-процессов и бизнес-моделей, то есть фактически трансформация в смарт-индустрию на основе разработки и применения цифровых двойников. Эти явления четвертой промышленной революции в полной мере затрагивают и промышленность Республики Беларусь, формируя рамочные условия, в которых будут работать предприятия в обозримой перспективе.

Смарт-индустрия – это межотраслевой промышленный комплекс, включающий совокупность коммерческих организаций всех форм собственности, основным видом деятельности которых является промышленное производство, учреждений и субъектов инновационной инфраструктуры, осуществляющих и обеспечивающих разработку, производство и продвижение на рынок продукции с использованием элементов Индустрии 4.0, а именно технологические и организационные решения, включая промышленный интернет, технологии искусственного интеллекта, аддитивные технологии, промышленную робототехнику и т. п. [17].

Основополагающей концепцией четвертой промышленной революции является внедрение киберфизических систем в заводские процессы. Предполагается, что эти системы, объединяясь в одну сеть, будут связываться друг с другом в режиме реального времени, самонастраиваться и учиться новым моделям поведения. Такие сети смогут выстраивать производство с меньшим количеством ошибок, взаимодействовать с производимыми товарами и при необходимости адаптироваться под новые потребности потребителей.

Исторически виртуальной сущности киберфизических систем давали множество определений: вычислительная мегамодель, тень физического устройства, зеркальная система, аватар, синхронизированный виртуальный прототип и др. [3, 4, 5]. В конце концов, устоялся термин цифровой двойник (Digital Twin, ЦД), который стал крайне популярным в последнее время.

Все чаще белорусские компании выбирают новые технологии промышленной автоматизации и Индустрии 4.0 как альтернативу дорогостоящему техническому переоснащению производства, а многие проектные организации, участвующие в разработке объектов для отраслей высокотехнологичной промышленности, технологически и организационно готовы к разработке цифровых двойников. Инновационный прорыв может обеспечить оптимальное и эффективное использование технологий создания цифровых двойников, сформированных, как правило, в процессе работы с различными промышленными компаниями – мировыми лидерами в рамках международной системы разделения труда, участия в глобальных технологических цепочках.

Метод

При проведении исследования использованы общенаучные методы: исторического и логического анализа, обобщения, описания, классификации.

Результаты и обсуждение

Создание цифровых моделей производственными компаниями для выпуска новых изделий известно с 60-х гг. XX в. Зародилось это понятие в рамках инженерной парадигмы, применительно к промышленным изделиям, где прослеживалась четкая связь цифрового двойника с реальным объектом на всех стадиях жизненного цикла изделия. Однако в то время после создания изделия виртуальную модель больше не использовали. В концепции цифрового двойника виртуальная модель уже не отбрасывается после создания материального объекта, а используется в связке с ним на протяжении всего его жизненного цикла: на этапе тестирования, доработки, эксплуатации и утилизации.

Впервые концепция цифрового двойника была озвучена Майклом Гривсом [5] в 2002 г. (таблица 1).

Таблица 1 – Подходы к определению термина «цифровой двойник»

Определение	Источник
«каждый объект можно представить в виде физической и виртуальной системы, так что виртуальная система отображает физическую, и наоборот»	Grieves M. Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products Through Product Lifecycle Management [5]
«цифровое представление объекта, достаточное для удовлетворения требований набора вариантов использования»	The Industrial Internet of Things consortium. Vocabulary [12]
«цифровая модель конкретного физического элемента или процесса с подключениями к данным, которая обеспечивает конвергенцию между физическим и виртуальным состояниями с соответствующей скоростью синхронизации»	ISO 23247 «Digital Twin Framework for Manufacturing» [9]
«цифровая (виртуальная) модель любых объектов, систем, процессов или людей. Она точно воспроизводит форму и действия оригинала и синхронизирована с ним. Цифровой двойник нужен, чтобы смоделировать, что будет происходить с оригиналом в тех или иных условиях»	Pettey, C. Prepare for the Impact of Digital Twins; Gartner: Stamford, CT, USA [11]
«система взаимосвязанных высокоадекватных цифровых моделей изделия, технологических, производственных и эксплуатационных процессов, параметрами которых можно управлять полностью в виртуальной среде»	Jones D. et al. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review, [10]

Важное требование в концепции цифрового двойника заключается в том, что он должен быть динамическим и постоянно обновляемым представлением реального физического продукта, устройства или процесса. Статическая модель реального пространства не является цифровым двойником (рисунок 1).

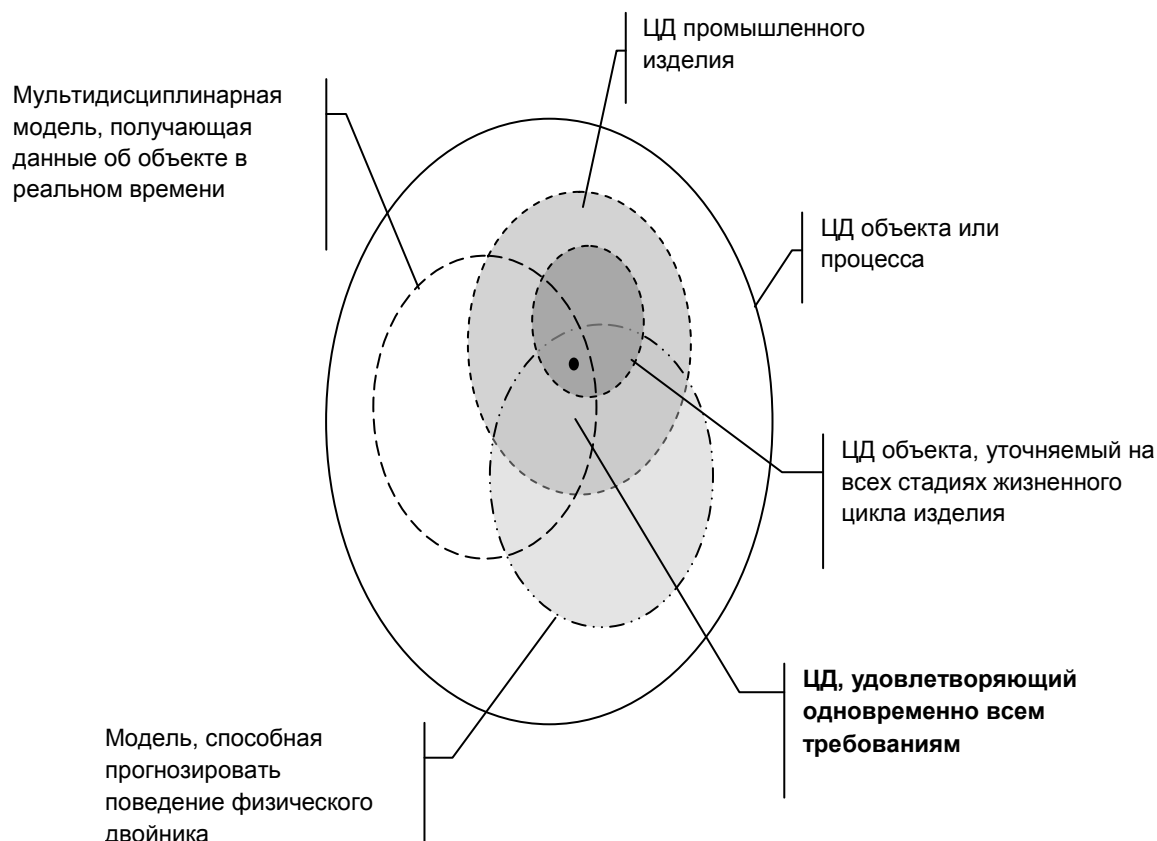


Рисунок 1 – Границы понятия цифровой двойник в современных публикациях

Примечание – Источник: собственная разработка на основе [19]

Цифровой двойник связывает виртуальную и физическую среду. Физическая среда (реальный объект, встроенные и внешние датчики) постоянно передает данные об эксплуатации и обслуживании для обновления виртуальной модели в цифровом двойнике. Таким образом, цифровой двойник становится точным представлением физической системы в реальном времени, при любых ее изменениях. Цифровой двойник использует данные измерений в реальном времени. Эта информация дополняется метаданными, свойствами и документами, такими как отчеты или рабочие процедуры, сгенерированными на всех этапах жизненного цикла объекта. На разных этапах в цифровых двойниках могут быть использованы разная информация и разные технологии (рисунок 2).

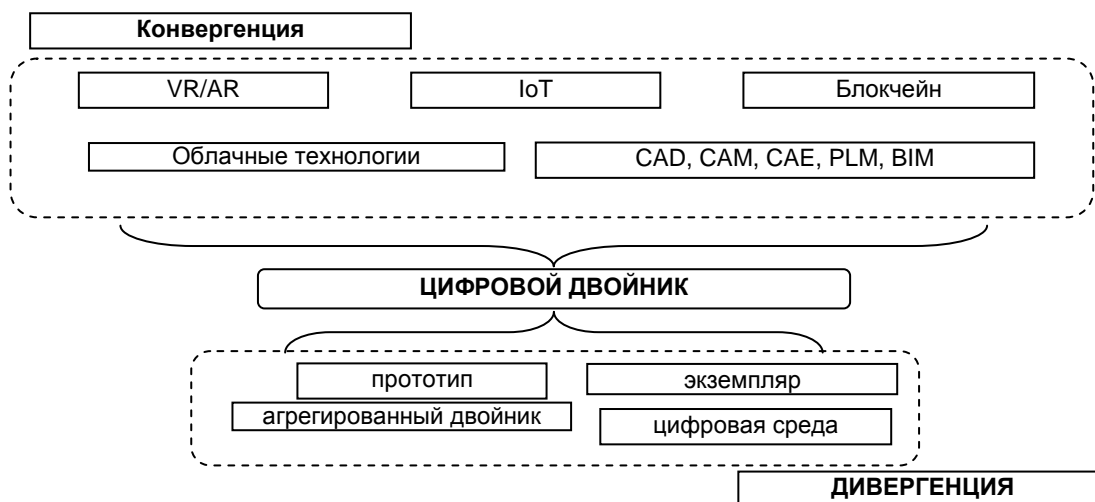


Рисунок 2 – Процессы конвергенции и дивергенции в концепции цифрового двойника

Примечание – Источник: собственная разработка на основе [1, 2, 19]

Технология цифровых двойников развивалась под влиянием процессов конвергенции (вовлечения все новых технологий) и процессов дивергенции (применения технологии к разным группам пользователей и разным отраслям) [19]. Комбинируя данные из различных источников информации, цифровой двойник может прогнозировать техническое состояние физического объекта, а также может быть использован для прогнозирования реакции системы на критические события безопасности. Возможны решения, когда цифровой двойник генерирует управляющие воздействия, способные смягчать повреждения или деградацию систем, активируя механизмы самовосстановления или рекомендуя изменения в профиле рабочей миссии (например, выбирая режим с меньшей нагрузкой на проблемный участок, тем самым увеличивая как продолжительность жизни, так и вероятность успеха миссии).

Множество вариантов цифровых двойников можно разделить на 4 категории [20]:

– Прототип (Digital Twin Prototype, DTP) – виртуальный аналог реального физического объекта. DTP-двойник характеризует физический объект, прототипом которого он является, и содержит информацию, необходимую для описания и создания физической версии объекта. Он содержит все данные по этому продукту, включая информацию со стадий проектирования и производства, например, требования к изделию, трехмерную модель объекта, описание технологических процессов, условия утилизации и т. д.

– Экземпляр (Digital Twin Instance, DTI) – данные, описывающие физический объект. Например, аннотированная трехмерная модель, сведения о материалах и компонентах изделия, информацию о рабочих процессах, итоги тестов, записи о проведенных ремонтах, операционные данные от датчиков, параметры мониторинга и пр.

– Агрегированный двойник (Digital Twin Aggregate, DTA) – система, которая объединяет все цифровые двойники и их реальные прототипы, позволяя собирать данные и обмениваться ими в реальном времени.

– Цифровая среда (Digital Twin Environment, DTE) – пространство приложений с несколькими областями для работы с цифровыми близнецами. Эти операции включают прогнозирование производительности и запрос информации.

В случае создания цифрового двойника сложного объекта, процесс построения двойника, по сути, становится неотъемлемой частью проведения цифровой трансформации этого объекта. Реальное и виртуальное пространства связаны, начиная от самого производства и эксплуатации изделия, устройства или процесса и заканчивая его ликвидацией. Информация с датчиков, отчеты от пользователей и другие данные, получаемые в процессе производства и эксплуатации, должны непрерывно передаваться цифровому двойнику. В свою очередь различные прогнозы и оценки, управляющие параметры и другие переменные, которые могут использоваться для разработки и эксплуатации реального устройства, должны непрерывно передаваться обратно из виртуального пространства в реальное. Важно отметить возможность образования обратных связей [16,19]:

- на этап эксплуатации – для оптимизации процесса с учетом различных режимов эксплуатации;
- на этап производства – для оптимизации производственных процессов;
- на этап проектирования – для репроектирования критических узлов или создания высокотехнологичной продукции нового поколения с учетом опыта эксплуатации, технического обслуживания и ремонтов.

Действительно, процесс построения цифрового двойника подразумевает интеграцию его элементов, создание цифровой непрерывности основного производственного процесса на этом объекте, что невозможно без перехода на уровень четвертой промышленной революции (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация цифровых двойников по уровню зрелости.

Уровень	Уровень сложности модели	Физический объект	Получение данных от физического двойника	Машинное обучение	
				предпочтения оператора	система/окружающая среда
1. Доцифровой двойник	Виртуальная модель с акцентом на технологию / снижение технических рисков	Не существует	Не применимо	Нет	Нет
2. Цифровой двойник	Виртуальная модель физического объекта	Существует	Производительность, статус технического состояния, техническое обслуживание; пакетные обновления	Нет	Нет
3. Адаптивный цифровой двойник	С адаптивным пользовательским интерфейсом	Существует	Производительность, статус технического состояния, техническое обслуживание; обновления в режиме реального времени	Да	Нет
4. Умный цифровой двойник	С адаптивным пользовательским интерфейсом и с обучением с подкреплением	Существует	Производительность, статус технического состояния, техническое обслуживание, информация об окружающей среде, обновления в режиме пакетных обновлений и в режиме реального времени	Да	да

Примечание – Источник: собственная разработка на основе []

Уровень 1 – Доцифровой двойник. Это традиционный виртуальный прототип, создаваемый на этапе предварительного проектирования. Он помогает принимать решения при разработке концепции и предварительного проекта. Виртуальный прототип – это универсальная виртуальная модель создаваемой, еще только предполагаемой системы. Обычно такая модель создается раньше физического прототипа. Ее основная цель состоит в том, чтобы уменьшить технические риски и выявить проблемы на стадии предварительного проектирования. Такой виртуальный прототип можно условно назвать доцифровым двойником.

Уровень 2 – Цифровой двойник. Это цифровой двойник, в котором виртуальная модель системы способна объединять данные о производительности, работоспособности и обслуживании физического близнеца. Сбор данных от физических датчиков и вычислительных элементов физического близнеца включает как данные о работоспособности, так и технические характеристики. Данные передаются цифровому двойнику, который обновляет свою модель, включая график технического обслуживания физической системы. Цифровой двойник 2-го уровня используется для изучения поведения физического близнеца в различных вероятных сценариях.

Уровень 3 – Адаптивный цифровой двойник. Располагает адаптивным пользовательским интерфейсом для физических и цифровых двойников. Адаптивный пользовательский интерфейс восприимчив к предпочтениям и приоритетам пользователя / оператора. Ключевой возможностью на этом уровне является способность изучать предпочтения и приоритеты операторов в разных контекстах. Предпочтительные характеристики фиксируются с помощью алгоритма машинного обучения на основе технологии нейронных сетей. Модели, используемые в таком цифровом двойнике, постоянно обновляются на основе данных, получаемых от физического близнеца в режиме реального времени.

Уровень 4 – Умный цифровой двойник. Он обладает всеми возможностями цифрового двойника 3-го уровня, включая контролируемое машинное обучение, но наряду с этим он наделен способностью машинного неконтролируемого обучения, благодаря чему распознает объекты и шаблоны, встречающиеся в рабочей среде. Кроме того, он поддерживает обучение и распознавание состояний системы и окружающей среды с подкреплением сигналами от среды взаимодействия в неопределенной, частично наблюдаемой среде. На этом уровне цифровой двойник обладает высокой степенью автономии.

Таким образом, цифровой двойник можно рассматривать в качестве виртуального прототипа реального объекта или процесса, который содержит все данные о нем, включая историю и информацию о текущем состоянии. Интерактивный анализ этих данных с помощью технологий Big Data позволяет эффективно выполнять прогнозирование будущих состояний с помощью предиктивной аналитики, а также удаленное управление объектом в режиме реального времени.

В Республике Беларусь явления четвертой промышленной революции в полной мере затрагивают все сферы экономики, в том числе промышленность, формируя рамочные условия, в которых будут работать предприятия в обозримой перспективе. На сегодняшний день белорусские промышленные предприятия все еще решают проблемы, связанные с созданием базовых условий для Индустрии 4.0, зачастую ошибочно полагая, что Индустрия 4.0 ограничивается цифровизацией или полной автоматизацией. Основанные на аппаратном и

программном обеспечении цифровые технологии сами по себе не являются новшеством, но объединяясь в глобальные сети, постоянно совершенствуясь, интегрируясь все в новые и новые сферы человеческой жизни, они неуклонно трансформируют глобальную экономику, уходя все дальше от уровня третьей промышленной революции [15].

Согласно Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы, утв. Указом Президента Республики Беларусь от 29.07.2021 № 292, одной из задач, стоящих перед предприятиями промышленности, будет внедрение информационно-коммуникационных технологий и передовых производственных технологий, базирующихся на принципах концепции «Индустрия 4.0», развитие смарт-индустрии [19].

В Брестской области активно ведется работа по продвижению технологий Индустрии 4.0. Совет Министров постановлением от 30 октября 2020 г. № 623 одобрил проект международной технической помощи «Стимулирование потенциала технологий четвертой промышленной революции для инклюзивного и устойчивого промышленного развития в Беларуси» – уникальный проект, который будет реализован Министерством экономики совместно с ООН по промышленному развитию (UNIDO) на базе Брестского научно-технологического парка. Создание Брестского демонстрационного и инновационного центра по технологиям Индустрии 4.0 будет содействовать технологическому обучению умному производству и инновациям для малых и средних предприятий, продвигая эффективное взаимодействие между органами управления национального и регионального уровней, промышленностью и научными кругами, стимулирующим развитие региональных инновационных систем и бизнес экосистем.

Для эффективной работы Брестского демонстрационного и инновационного центра по технологиям индустрии 4.0 предполагается закупка современного оборудования: 3D-принтер и сканеры для создания прототипов продуктов и цифровых моделей, роботизированная рука для программных и производственных экспериментов, оборудование для экспериментов с беспилотным вождением, беспилотники, датчики и счетчики для тестирования и пилотирования новых бизнес-моделей и др [15].

Наиболее широко технологии смарт-индустрии в Брестской области на сегодняшний день представлены на предприятиях пищевой промышленности региона. Развитие пищевой промышленности напрямую зависит от многих особенных факторов, включающих законодательное регулирование и социальные тренды. Требования к процессу производства постоянно растут: санитарные и гигиенические нормы становятся строже, спрос и предпочтения потребителей меняются как никогда быстро. Эффективным решением становится использование цифровых двойников, что позволяет значительно снизить организационные издержки и сократить время развертывания нового участка, проекта, запуска нового продукта, поскольку вся подготовительная часть переносится в среду моделирования и отрабатывается там.

В 2020 году в Бресте начала работу Лаборатория промышленной робототехники, учредителями которой стали Брестский государственный технический университет, ООО «Системы промышленной автоматизации» и ОАО «Савушкин продукт». Отдельное направление рабочего процесса посвящено именно цифровому моделированию, когда разработка проектов выполняется на базе точной цифровой копии оборудования, которое потом поставляется на предприятие. Предприятия могут просчитать и выверить в программной среде предстоящие изменения производственных линий. Создание цифровых двойников может осуществляться с использованием различных технологий, в зависимости от того, создается ли двойник для будущего производства, и от того, в какой стадии проектирования находится данный производственный объект, или же он создается для уже существующего производства, а также в зависимости от назначения создаваемого двойника и степени требуемой детализации имитационной модели. Таким образом, заказчики экономят на том, что практически полностью исключают ошибки при перестройке производства: при должном подходе все уже откалибровано посредством цифрового инжиниринга. Более того, многие изменения теперь возможно совершить, практически не останавливая реальное производство [17].

Виртуальная модель может быть построена для всего заводского цеха или отдельных его частей. С ее помощью инженеры могут тестировать различные настройки оборудования, изменяя их до тех пор, пока результат не окажется наилучшим. И только потом внедрять новшества в реальность.

Внедрение цифровых двойников в производство дает промышленным предприятиям возможность прогнозировать результаты слишком дорогих или сложных изменений с помощью виртуальных датчиков, тестировать сценарии «что, если...?» для изменений в процессах производства, а также оптимизировать производство на этапе проектирования и сравнивать оптимальную производительность с фактической.

Наибольшее преимущество цифровой инжиниринг дает предприятиям, которые активно используют роботов и автоматизированное оборудование либо стремятся к их внедрению. Это связано с тем, что современное программное обеспечение предоставляет возможность в короткие сроки полноценно тестировать и отлаживать работу этих компонентов в виртуальной среде. Лаборатория промышленной робототехники активно сотрудничает с такими мировыми брендами, как Techman Robot (производитель коллаборативных роботов), OnRobot (передовые системы захватов и датчиков для промышленной автоматизации), Robotize (мобильная робототехника), Visual Components (ведущий разработчик программного обеспечения и решений для 3D-моделирования производства), Festo (пневмоавтоматика и автоматизация) и др.

Таким образом, использование технологии цифровых двойников в смарт-индустрии позволяет предприятиям достичь следующих преимуществ:

1. Благодаря такой модели возможно проверить соответствие продукта маркетинговым заявлениям или нормативным требованиям. Двойник дает возможность быстро трансформировать технологию производства для переноса производства между заводами и адаптировать их к новому оборудованию.

2. Оптимизация движения конвейеров. Одна из задач предприятий пищевой промышленности – организация производственных линий так, чтобы они были гибкими, при этом занимали меньшую площадь и поддерживали высокую пропускную способность. Визуализация лент и конвейеров посредством цифровых двойников позволяет разрабатывать кастомизированные решения для клиентов, чтобы те сразу смогли увидеть, как технология будет улучшать поток продукции на их предприятии, а также запускать сразу несколько возможных сценариев для выбора оптимального.

3. Контроль качества поставок. Предприятия пищевой промышленности часто работают с большим количеством самых разнообразных поставщиков, поэтому прозрачность цепочек поставок является одновременно важной и сложной задачей. Благодаря цифровым двойникам производители могут в режиме реального времени наблюдать за тем, что происходит с их продуктами в течение каждого этапа производства. Например, с помощью датчиков возможно определить, подвергались ли продукты воздействию температур или других условий окружающей среды, которые могут сделать их опасными для употребления. Такая информация позволяет предприятиям предупредить брак в производстве и выбирать надежных поставщиков.

4. Оркестрирование всего процесса диспетчирования и сервисного обслуживания оборудования, т. е. увязка с существующими производственными и сервисными системами на предприятии. Данный вопрос тоже актуален для многих предприятий, т. к. сегодня Индустрия 4.0 подразумевает уже не лоскутные технологии, а интегрированные решения, встроенные внутрь существующего контура управления. Кроме того, в системную модель встроен модуль оптимизации, благодаря чему появляется возможность выстраивать технологические режимы на основе комплексных технико-экономических целевых функций.

Наличие динамической модели также помогает объединить наработки, созданные в проектной организации, и разработки, существующие у производителя оборудования, и передать эти данные непосредственно в эксплуатацию.

Важно отметить, что в цифровых двойниках задействованы и технологии машинного обучения, потому что они являются, по сути, самообучающимися системами, которые используют информацию из целого ряда источников, включая данные с датчиков, осуществляющих мониторинг различных показателей рабочего состояния физического объекта, сведения от специалистов-экспертов и от других подобных машин или парков машин, а также более крупных систем, частью которых может быть наблюдаемый физический объект.

Заключение

Цифровые двойники на промышленных предприятиях способны повысить их эффективность, сократив затраты и повысив эксплуатационную надежность оборудования, поскольку они основаны на широко применяемых в отрасли технологиях численного и системного моделирования.

Цифровая экономика приводит к ускоренному внедрению принципиально новых бизнес-моделей. Появляется возможность создания конкурентной экономики на основе технических средств, опирающихся на смарт-индустрию. Предприятия интегрируются в глобальные промышленные сети для объединения сети производственных ресурсов и глобальных приложений. Модернизация производственного сектора позволит внедрить в промышленность Беларуси новые технологии – смарт-индустрию (умное производство), которая станет ключевым фактором роста конкурентоспособности продукции.

Внедрение информационно-коммуникационных технологий и передовых производственных технологий, базирующихся на принципах концепции «Индустрия 4.0», позволяет избавить производителя от необходимости проводить продолжительные и дорогостоящие натурные испытания в ходе реализации проекта, быстро перепроектировать изделия под те или иные требования, минимизировать число расчетных ошибок (в том числе, связанных с человеческим фактором), дает возможность увеличивать процент локализации и, как следствие, снимать зависимость производителей от зарубежных заказов при соблюдении высочайших требований к технологическим, пользовательским эксплуатационным и другим показателям.

Список использованных источников

1. Digital Twins for Industrial Applications: Definition, business values, design aspects, standards and use cases. An Industrial Internet Consortium White Paper // Industrial Internet Consortium. – Mode of access: https://iiconsortium.org/pdf/IIC_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf. – Date of access: 16.09.2021.
2. GE Power Digital Solutions (2016). GE Digital Twin // General Electric – Mode of access: https://www.ge.com/sites/default/files/GE_Power_120116_1.pdf. – Date of access : 16.09.2021.
3. Glaessgen, E. H.; Stargel, D. S. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. In 53rd Struct. Dyn. Mater. Conf. Special Session: Digital Twin, Honolulu, HI, US., 2012.
4. Götz M., Jankowska B. Adoption of Industry 4.0 Technologies and Company Competitiveness: Case Studies from a Post-Transition Economy.– 2020. – Foresight and STI Governance, vol. 14, no 4, pp. 61–78.
5. Grieves M. Virtually Perfect: Driving Innovative and Lean Products Through Product Lifecycle Management. Cocoa Beach - FL, USA: Space Coast Press. 2011.
6. Grieves, M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication; A White Paper; Michael Grieves, LLC: Melbourne, FL, USA, 2014.
7. Маковельский, О. А. Фабрика Цифровой Трансформации: «Сегодня Индустрия 4.0 – это уже не лоскутные технологии, а интегрированные решения / О. А. Маковельский, А. Б. Есаулов // журнал «Neftegaz.RU» 2020. – № 9(105). – С. 46–50.
8. Industry 4.0: Building the digital enterprise, 2016 Global Industry 4.0 Survey // PWC. – Mode of access: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>. – Date of access: 16.09.2021.

9. ISO 23247 «Digital Twin Framework for Manufacturing» // International Organization for Standardization – Mode of access: <https://www.iso.org/standard/75066.html>. – Date of access : 16.09.2021.
10. Jones D. et al. Characterising the Digital Twin: A systematic literature review // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – Mode of access: <https://www.journals.elsevier.com/cirp-journal-of-manufacturing-science-and-technology> – Date of access : 16.09.2021.
11. Pettey, C. Prepare for the Impact of Digital Twins; Gartner: Stamford, CT, USA, 2017.
12. The Industrial Internet of Things consortium. Vocabulary // The Industry IoT Consortium – Mode of access: – Date of access: 16.09.2021.
13. The New Age of Manufacturing: Digital Twin Technology & IoT – Mode of access: <https://www.seebo.com/digitaltwin-technology>. – Date of access : 16.09.2021.
14. Зазерская, В. В. Факторы устойчивого экономического роста в условиях цифровой экономики / В. В. Зазерская // Вестник Брестского государственного технического университета.– 2020. – № 3 : Экономика. – С. 27–29.
15. Макарук, О. Е. Внедрение технологий Индустрии 4.0 в деятельность субъектов инновационной деятельности Брестской области / О. Е. Макарук // Инжиниринг и управление: от теории к практике: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, 15 апреля 2021 г. / Белорусский национальный технический университет; редкол.: С. Ю. Солодовников (пред. редкол.) [и др.].–Минск : БНТУ, 2021. –С. 207–208.
16. Ковалев, М. М. Цифровая экономика – шанс для Беларуси: моногр. / М. М. Ковалев, Г. Г. Головенчик. – Минск : Изд. центр. БГУ, 2018. – 327 с.
17. Лаборатория робототехники БрГТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://robotics.bstu.by/>. – Дата доступа : 16.09.2021.
18. О Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 2 февраля 2021 г. № 66.
19. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021– 2025 годы: указ Президента Республики Беларусь от 29.07.2021 № 292.
20. Прохоров, А. Научный редактор профессор Боровков А. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, М. Лысачев. – Изд. 1-е, испр. и доп. – М. : ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 с.
21. Хитрых, Д. А. Цифровой двойник: концепция, уровни, связь с Интернетом вещей и роль численного и системного моделирования / Д. А. Хитрых // «САПР и Графика. Спецвыпуск». – 2020. – № 7. – С. 8–12.
22. Шумилин, А. Г. «Смарт-индустрия» станет ключевым фактором роста конкурентоспособности [Электронный ресурс] / А. Г. Шумилин // Международный форум по внедрению умных технологий в реальный сектор экономики Smart Industry Expo (SIEx) – Режим доступа: <https://smartexpo.pro/siex2020>. – Дата доступа: 16.09.2021.

МОДЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ДЕЛОВОГО ЧЕЛОВЕКА

Хвиевич Н. Ю.

Имен у главной достопримечательности японского города Киото десятки и, вероятно, самая большая его ценность – десятки толкований сути, какие вложил столетия назад мудрый монах Соами в пятнадцать черных необработанных и разных по величине камней, разбросанных по белому песку. Пятнадцать камней – столько их указано в путеводителе. Но на самом деле замечаешь лишь четырнадцать. Пятнадцатого камня перед глазами нет. Его загораживают соседние. Делаешь шаг по деревянной галерее, протянувшейся вдоль края песчаного прямоугольника, – и снова четырнадцать камней. Пятнадцатый тот, что до сих пор прятался, теперь оказался в их числе, а исчез другой камень [3].

Характеристики делового человека, сотрудника, специалиста, выпускника высшего учебного заведения, в каждой конкретной ситуации его профессиональной деятельности то появляются, то исчезают, и оттого, насколько полно они проявляются, зависит уровень грамотности в процессах принятия решений специалистом.

Япония перегнала американского и западноевропейского конкурентов по многим показателям. С 1950 по 1973 гг. среднегодовой рост в Японии внутреннего продукта составил 10,5 процента. Для всего остального мира он был вдвое меньше. В 1985 году объем японского валового продукта, достигший 1348 миллиардов долларов США, уступал лишь американскому. Производительность труда в японской обрабатывающей отрасли в течении 70-х и 80-х годов возрастала в среднем на 8,2 % в год, в то время как в США — на 3,3 %, и соответственно, в ФРГ — на 5,5% [3]. «Трудолюбие — вот основа духовного сплочения в структуре нашего промышленного производства», — провозгласила Федерация японских предпринимателей.

Владимир Цветов [3] пишет: «Разговор с менеджером Рюити Хасимото начался с моего вопроса: «Почему американский бизнесмен вкладывает деньги сначала в капитальное строительство, в технологию, в оборудование и только потом в персонал, тогда как, японский бизнесмен прежде в персонал, а уж затем в строительство, технологию, оборудование?»

«Нынешняя научно-техническая революция требует, — сказал Хасимото, — максимального использования человеческих способностей, знаний, энтузиазма. Орудовать кувалдой можно было силой. Но думать силой не принудишь, причем думать так, чтобы это было полезно и выгодно фирме».