

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2022, №1 Том 9 / 2022, No 1, Vol 9 <https://resources.today/issue-1-2022.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/12ITOR122.pdf>

DOI: 10.15862/12ITOR122 (<https://doi.org/10.15862/12ITOR122>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Пудовкина, О. Е. Методический подход к созданию представлений цифрового двойника в рамках концепции «цифрового производства» / О. Е. Пудовкина, Е. А. Балашова, Е. О. Бобков // Отходы и ресурсы. — 2022. — Т. 9. — № 1. — URL: <https://mir-nauki.com/PDF/12ITOR122.pdf> DOI: 10.15862/12ITOR122

For citation:

Pudovkina O.E., Balashova E.A., Bobkov E.O. A methodical approach to creating representations of a digital twin within the framework of the concept of "digital production". *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 9(1): 12ITOR122. Available at: <https://mir-nauki.com/PDF/12ITOR122.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.15862/12ITOR122

Пудовкина Ольга Евгеньевна

ФГАОУ ВО «Самарский государственный экономический университет»
Филиал в г. Сызрань, Сызрань, Россия
Доцент кафедры «Экономики и управления»
Кандидат экономических наук, доцент
E-mail: olechkasgeu@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2993-7131>

Балашова Екатерина Андреевна

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, Россия
Студент 4 курса
E-mail: balashova419@gmail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1286-1046>

Бобков Егор Олегович

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, Россия
Студент 4 курса
E-mail: warlocdestr@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9673-0838>

Методический подход к созданию представлений цифрового двойника в рамках концепции «цифрового производства»

Аннотация. Цифровые двойники являются одним из стратегических направлений развития информационных технологий в современных условиях цифровизации. В данной статье представлены ключевые технологии и тренды, которые привели к появлению Digital Twin. Целью исследования явилась разработка методического подхода для проектирования и реализации цифровых двойников в промышленности, предполагающий создание архитектуры XLM-схемы цифрового двойника, интегрирующей различные программные системы в единую систему. Авторами дано уточненное определение представления о цифровом двойнике, применение которого позволит извлекать необходимую информацию из различных баз данных и генерировать информационную пользу за счет целенаправленного объединения и связывания данных в Digital Twin. Результатом исследования является разработанная концепция метода представления вариантов использования цифрового двойника, основанная на теории нового индустриального общества и смены индустриальных парадигм. Преимущество концепции для

промышленности в данной статье подчеркивается путем организации работы с большими данными, которые интегрируются в цифровой двойник. Сформированные результаты будут способствовать научным исследованиям, направленным на реализацию программ цифрового производства, которые способны привести к промышленному лидерству на глобальных рынках.

Ключевые слова: цифровизация; цифровой двойник; передовые промышленные технологии; XLM-схема; интеграция; промышленность; производство; четвертая промышленная революция

Современное развитие Российской Федерации в эпоху информационно-креативной парадигмы немыслимо без учета трендов цифровизации и онлайнизации [1]. Цифровизация открывает беспрецедентные возможности для предприятий [2]. Процесс информатизации, мультимедиа и виртуализации как успешные тренды развития [3] стали актуальной темой многих конференций, симпозиумов и круглых столов.

В связи с усложнением производства и процессом цифровизации, объем данных на предприятиях постоянно увеличивается. Рост объема данных сопровождается использованием киберфизических систем, которые применяются в самих продуктах и в их производстве. Киберфизические системы состоят из встроенной системы, интегрированного датчика, исполнительного механизма и интерфейса связи [4]. Для реализации взаимодействия киберфизических систем необходимым условием является наличие коммуникационного модуля, который может использоваться для локальной или глобальной связи. Актуальным и перспективным в этом контексте является Digital Twin или, как часто называют, цифровой двойник.

Данные, сгенерированные в процессе, могут храниться и использоваться для различных целей. Помимо возможностей оптимизации, агрегированные данные также можно использовать для создания новых бизнес-моделей. Однако, применение различных программных систем и баз данных затрудняет эффективный поиск и связывание существующей информации. В результате данные не извлекаются и не используются, даже если они могут создать дополнительную ценность. Кроме того, применение разных баз данных в компаниях усложняет поиск и извлечение информации.

Цифровой двойник же может генерировать добавленную стоимость практически на каждом этапе жизненного цикла продукта. Например, существующие данные о продукте можно обрабатывать и визуализировать во время разработки и проектирования, чтобы представить собранные результаты в удобном для пользователя скомпонованном виде. С одной стороны, это позволяет сэкономить время, поскольку сотрудникам не нужно искать существующие данные в различных системах. С другой стороны, качество продукта может быть улучшено, поскольку информация может быть представлена более точно.

Отметим, что в производстве вся информация о продукте может быть использована в виде Digital Twin для упрощения производственных или сборочных работ. Данные об применяемых материалах для сборки будет отображена в цифровом видео. На одном из последних этапов жизненного цикла продукта, на этапе практического использования, Digital Twin может также функционировать как бизнес-модель и предоставлять производителям дополнительные преимущества. Возможные сценарии применения цифрового двойника варьируются от процесса формирования заказа запасных частей до поддержки ремонтных мероприятий. Однако, разработка определенного сценария использования цифрового двойника также является сложной задачей, которую можно упростить с помощью методического подхода.

Несмотря на сложность существующих ИТ-инфраструктур, методичный подход к созданию представлений цифрового двойника необходим для того, чтобы справиться с растущим объемом данных и уменьшить количество неиспользуемой информации. Представления Digital Twin состоят из сценария его использования, который необходим пользователю для упрощения процесса цифровизации данных и для их лучшего использования. Кроме того, Digital Twin при практическом применении учитывает только основные достоверные данные, что позволяет сохранить высокую эффективность использования информации при производстве.

Таким образом, в данной работе представлен методический подход, который содержит уточненное определение представлений о цифровом двойнике, применение которого позволит извлекать необходимые данные из различных баз данных и генерировать информационную пользу за счет целенаправленного объединения и связывания данных в Digital Twin.

В 2003 впервые термин «цифровой двойник» упомянут в связи с управлением жизненным циклом продукта [5]. Однако, в то время генерировать и собирать данные было сложнее, а цифровизация не была столь развита, как сегодня. Несмотря ни на что, между прошлой и нынешней концепцией есть много общего. По сути, она состояла из ключевых компонентов, которые и сегодня являются актуальными: физический продукт, виртуальный продукт и обмен данными и информацией между виртуальным и физическим продуктом, т.е. между виртуальным и реальным миром [5]. Цифровой двойник передает данные или информацию, например, команды управления, на физический продукт. Источниками данных для цифрового двойника могут быть базы данных, программы, устройства. Однако, с момента первого упоминания Digital Twin претерпел значительные изменения и существует большая потребность в дальнейших исследованиях. Это видно по тому, как много внимания уделяется теме цифрового двойника на различных конференциях, а также по растущему числу публикаций по данной теме. Важным вопросом здесь является обработка и использование существующих данных. Данные должны передаваться между системами без прерывания и быть доступными для Digital Twin.

Рассмотрим дефиницию «Цифровой двойник» с точки зрения рынка производства в области таких отраслей как авиация, автомобилестроение, машиностроение и так далее. Для того, чтобы дать точное определение необходимо рассмотреть ключевые технологии и тренды, которые привели к его появлению и без которых он не может работать.

На рисунке 1 показана кривая передовых производственных технологий. Отсюда понятно, что технология Digital Twin достаточно новая, понимаемая разными людьми по-разному. Это происходит по тому, что концепция применения цифрового двойника находится на этапе «пика завышенных ожиданий». Это означает, что новая технология проходит типовые стадии формирования: «Запуск технологии» — фаза образования технологии и момент начала интереса к ней общества. Далее начинается фаза «пик завышенных ожиданий» — период, когда общество проявляет максимальное внимание к инновационной технологии и ожидает от нее перспективной отдачи [6]. Как видно из представленного рисунка, цифровой двойник вышел на пик популярности, но до плато продуктивности ему еще осталось от 5 до 10 лет, чтобы понять практику использования и продуктивное применение данной технологии. В соответствии с данной кривой пока что эта технология находится на пике «раздутых» ожиданий.

Отметим, что наряду с цифровым двойником на кривой продемонстрированы еще вариация инновационных технологий, которые так или иначе связаны с цифровыми двойниками, а некоторые могут применяться при формировании решений класса Digital Twin. Необходимо подчеркнуть, что на подъеме в фазу «плато продуктивности» указана интеграция ОТ/ИТ. Имеется в виду объединение операционных технологий ОТ (Operational Technologies),

которые включают компьютеризацию работы, контроль активов и т. д., где формируются данные, и информационных технологий IT (Information Technologies), которые включают автоматизацию бизнес-процессов, офисов, корпоративных, а также мобильных приложений и т. д., где данные потребляются. В ближайшем будущем цифровой двойник станет интеграционной платформой для объединения выполнения операционных задач организации, как это было двадцать лет назад с ERP, которая стала интеграционной платформой, решая вопросы управления пакетом разрозненных приложений для бизнеса [6].

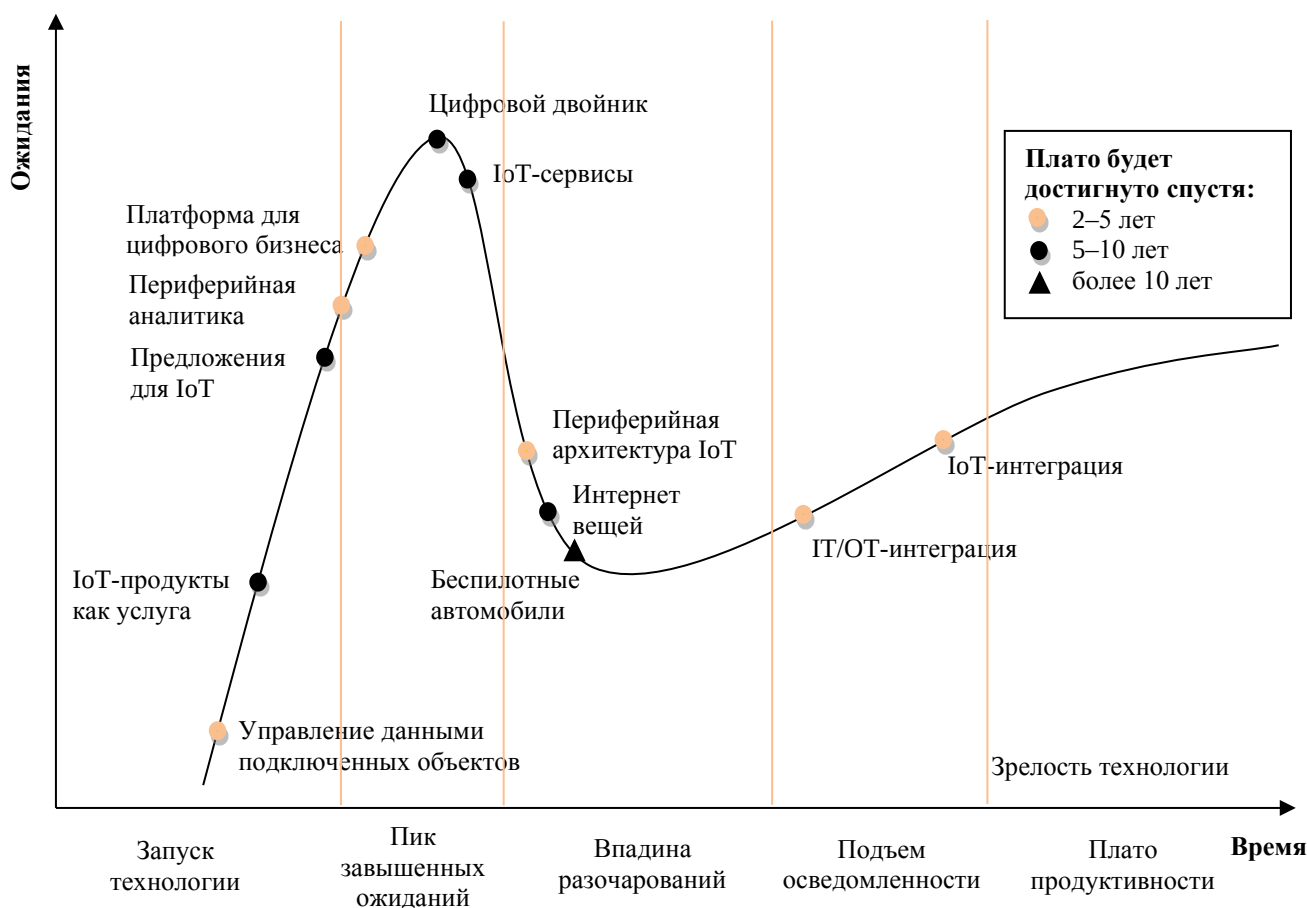


Рисунок 1. Цикл передовых производственных технологий (разработано авторами на основе исследований)

Анализ литературы позволил сделать вывод [7], что Operational Technologies фрагментированы, не имеют интегрированной поддержки с единой зоной ответственности. И именно на технологию Digital Twin возлагаются надежды, потому что она поможет решить данную проблему, осуществляя переход от разрозненных операционных технологий к интегрированной системе на базе общей Digital Twin — платформы.

Оценка вектора развития производственных технологий позволил выделить существенные характеристики четвертой промышленной революции (рис. 2). Первое, что необходимо отметить, это то, что мы находимся в области четвертой промышленной революции. Есть определенный набор технологий, который подтверждает данный факт. Это облачные сервисы, Интернет-вещей, интеллектуальные датчики, усовершенствованные интерфейсы взаимодействия человека с компьютером и другое.

Первая промышленная революция возникла, тогда, когда появился паровой двигатель, вторая — когда появился конвейер, третья — это появление компьютеров и автоматизации, четвертая называется, как было отмечено выше, киберфизические системы. Основные

технологии, позволяющие работать этим киберфизическим системам представлены на рисунке 2. Некоторые из этих технологий явились фундаментом, который позволил появиться Digital Twin.



Рисунок 2. Составляющие цифровой индустрии 4.0 (разработано авторами на основе исследований)

Кроме того, стоит отметить, что четвертая промышленная революция, как и любая революция, характеризуется не только новыми технологиям, но и сменой образа мышления с точки зрения бизнеса. Потому что, что с точки зрения бизнеса при традиционном подходе, например, при появлении потребности заказчика используется реактивный подход к решению существующих потребностей. При четвертой промышленной революции совершенно другие подходы. Если мы посмотрим на основные тренды, основные тенденции — это смена бизнес-парадигмы (табл. 1). То есть, продажа не того, что может потребовать заказчик или то, что заказчику нужно сегодня, а попытка перехода к продаже решений на тех платформах, которые предлагает компания.

Проанализируем, какие технологии необходимы, чтобы обеспечить работу цифровых двойников в системе инновационного управления [8]. Первая — это интернет-вещей. В данной статье, акцентируем именно на промышленном интернете-вещей. Это умные устройства, которые собирают информацию с датчиков и сенсоров на промышленных предприятиях, на промышленных объектах, передающие эту информацию с помощью определенной инфраструктуры связи в инфраструктуру обработки данных, где осуществляется анализ и обработка информации с тем, чтобы затем обеспечить управление теми объектами, на которых эти умные устройства установлены. Отметим, что умение извлекать информацию становится залогом конкурентного преимущества.

Таблица 1

Смена образа мышления Индустрии 4.0

	Традиционное мышление	Мышление Индустрии 4.0
Потребности заказчика	Реактивный подход к решению существующей потребности	Фокус на решении потребности в реальном времени с предиктивным подходом
Предложения	Отдельное изделие, спроектированное для устаревания	Постоянно изменяющейся, адаптируемый продукт
Роль данных	Ограниченная, точечные данные, которые устанавливают будущий облик изделия и функциональность	Постоянный поток данных для непрерывного изменения облика и функциональности изделия
Модель заработка	Продать будущий продукт	Создать повторяющийся доход
Контрольные точки	Преимущество товара, владение интеллектуальной собственностью, известность бренда	Персонализация и контекст, эффект от взаимодействия между изделиями
Развитие возможностей	Использование ключевых компетенций, существующих ресурсов и процессов	Понимание, как другие партнеры экосистемы делают деньги

Вторая технология, которая необходима — это технология мультифизики, мультифизической симуляции. Поскольку эта основа для создания цифрового двойника. Мультифизическая симуляция — это когда на виртуальной модели можно повторить практически все физические процессы, которые происходят на реальном изделии. Не просто подсчитать отдельный какой-то элемент, но смоделировать и в режиме реального времени все физические процессы, которые могут происходить. К примеру, это прочностные расчеты, это может быть течение жидкости и газов, аэродинамика, это может быть расчет электромагнитных колебаний, расчет взаимосвязи полупроводниковых элементов между собой, совместное моделирование работы встраиваемого программного обеспечения с элементами изделия и тому подобное. Современные технологии работают таким образом, что мы можем фактически в режиме реального времени спроектировать реальный объект. Таким образом, цифровые двойники — это симуляция мультифизических процессов и их визуализация.

Цифровой двойник — это концепция информационных технологий, которая реалистично представляет все данные и поведение физического продукта [2]. Однако, до сих пор существует множество различных определений цифрового двойника. Авторами [9; 10] цифровой двойник был определен "как цифровое представление физического объекта, особенно изготовленных отдельных деталей, узлов и изделий, существующих в реальности" [6]. На наш взгляд, Digital Twin следует понимать как "цифровое представление продукта (реального устройства, объекта, машины, услуги или нематериального блага) или экземпляра системы продукт-сервис. Данное определение дефиниции «цифровой двойник» не противоречит большому количеству существующих источников [3; 5; 11], в которых под Digital Twin часто понимается как цифровое представление системы или процесса, способного обрабатывать, хранить информацию. На наш взгляд, по сути, цифровой двойник является результатом серьезной системной интеграции, авторская концепция которого сформирована на рисунке 3.

Для компаний одной из самых больших проблем, связанных с цифровым двойником, является определение собственных значимых сценариев его использования. Компании перегружены определением вариантов применения и испытывают проблемы с целенаправленным сбором и анализом данных, несмотря на то, что многие потенциальные варианты использования описаны в научных кругах. К ним относятся системы изготовления продукции с помощью Digital Twin, обнаружение отклонений в поведении реального продукта вследствие влияющих факторов, а также возможность прогнозирования будущего поведения продукта.

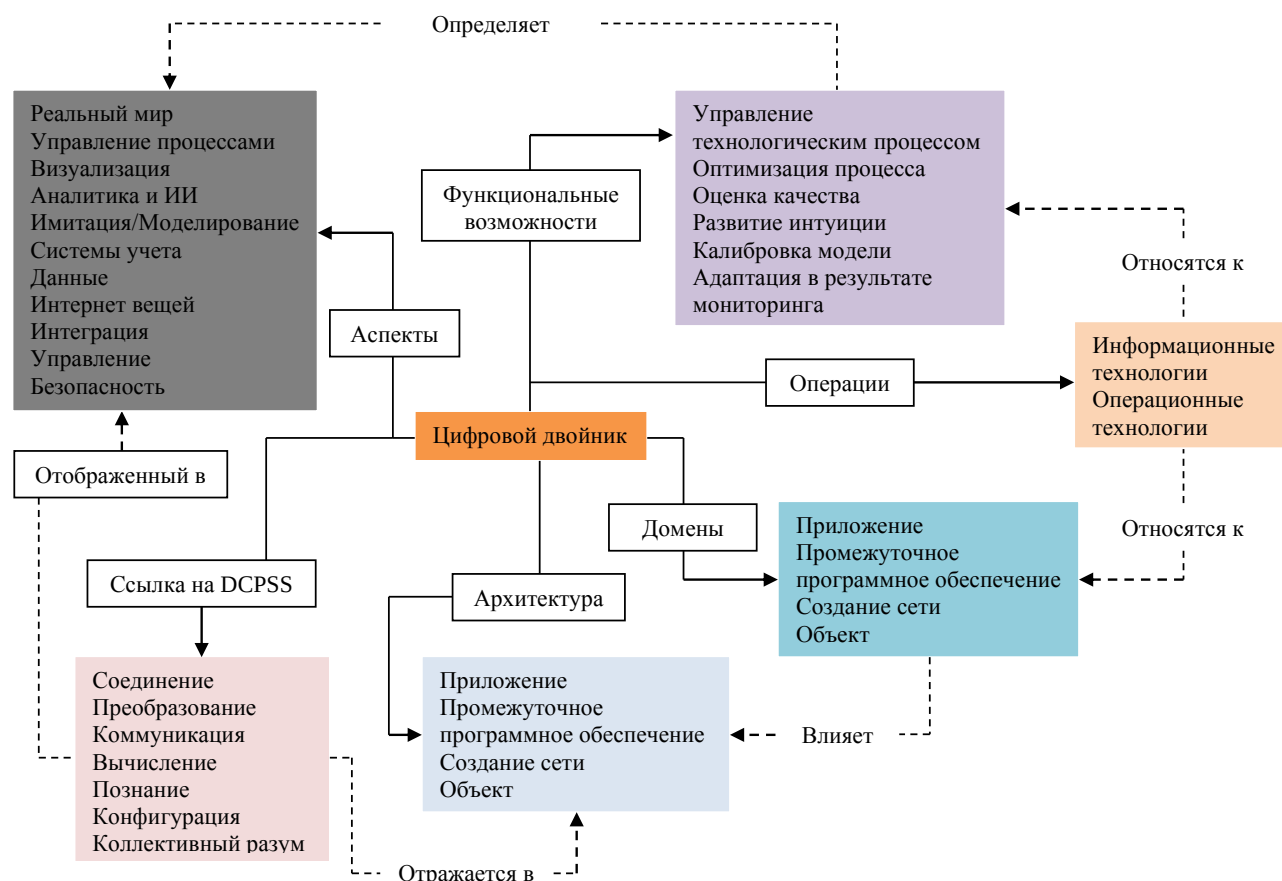


Рисунок 3. Цифровой двойник и связанные с ним концепция (разработано авторами на основе исследований)

Еще одной проблемой для создания и использования цифровых двойников является интеграция различных программных систем предприятия в единую систему. Проблемы, указанные выше приводят к следующей концепции.

Концептуальным моментом является создание представлений, связанных с вариантами использования цифрового двойника, и соответствующий выбор данных, необходимых для практической реализации. Представление создается как типоспецифическая визуализация и, таким образом, представляет собой общую частичную модель цифрового двойника продукта. В рамках метода из типового представления создается физическая единица, специфичная для конкретного образца. Это делается путем присвоения продукту представлений конкретного типа, которое основано на параметризованной частичной модели и ссылок на данные конкретного образца. Каждое представление Digital Twin представляет собой функциональную единицу. Она описывает целый сценарий использования, который изначально должен быть задан в программе. На основе определенного виртуального типа происходит интеграция выбранных данных в информацию, которые, в конечном итоге, представлены в виде Digital Twin для конкретного образца продукта.

Метод представления вариантов использования цифрового двойника состоит из конкретных шагов:

- пункт 1 «Исследование и принципы работы» представляет собой анализ производства и показывает принципы создания структуры цифрового двойника;
- пункт 2 «Эталонная архитектура» обеспечивает цели и задачи эталонной архитектуры, эталонную модель и эталонные архитектурные структуры;

- пункт 3 «Цифровое представление производственных элементов» устанавливает компоненты производственной структуры цифрового двойника, которые должны быть зафиксированы в цифровых моделях;
- пункт 4 «Обмен информацией» представляет технологии, такие как сетевые протоколы, API, языки программирования и т. д., для синхронизации информации, обмена и управления цифровыми производственными двойниками.

Остановимся на методах представления цифрового двойника. Для исследования принципов его работы необходимо перевести данные на единый и машиночитаемый язык. При этом используется XML-схема для описания и определения представления, связанного с конкретным случаем использования, которая может быть гибко расширена по мере необходимости. XML-схема является частью метода и состоит из устройств, необходимых с целью описания виртуальной модели. К ним относятся данные датчиков, определенные временные диапазоны или фазы жизненного цикла продукта, а также формулы или операции, необходимые для связи данных датчиков или других определенных устройств. Это позволяет определить задействованные данные, их взаимосвязи и временные диапазоны, необходимые для представления, связанного с сценарием его использования.

Также в XML-схеме создания цифрового двойника используются формулы, необходимые для объединения различных данных датчиков. Примером может служить расчет производительности продукта путем деления, затраченной и измеренной энергии, на необходимое время для определенного процесса. С помощью XML-схемы метод обеспечивает единый формат описания представлений, который может быть использован любым субъектом для определения варианта использования цифрового двойника. Для этого пользователь концепции заполняет всю XML-схему всей необходимой и существующей информацией о возможности использования, чтобы его можно было достаточно полно описать. Кроме того, применяется синтаксический анализатор для автоматической проверки выполнения всех требований. В результате получается машиночитаемый документ представления, связанного с примером использования, который изначально специфичен для конкретного образца. XML-схема, которая употребляется для описания варианта использования и на основе которой создается XML-документ, является единственным необходимым инструментом в данной концепции. Благодаря своей структуре она легко расширяема и проста в заполнении, даже при небольшом опыте цифровизации бизнес-систем.

Определение представления, связанного с вариантом использования, можно проиллюстрировать на примере. Если необходимо определить эффективность использования ресурсов входящих и исходящих потоков станка (например, фрезерного станка) при производстве выбранного продукта, эксперт должен создать соответствующую модель, например, в виде формулы. Результатом формулы является сравнительное значение жизненного цикла, которое представлено цифровым двойником продукта. Формула состоит из точек данных, которые присваиваются датчикам конкретных машин. Точки данных, в свою очередь, берутся из библиотеки, чтобы можно было исключить неправильное именование. Эта машиночитаемая модель затем передается в цифровое действие. Вся дальнейшая информация, описывающая вариант использования, может быть добавлена в XML-схему пользователем концепции. Таким образом, случай использования четко описан, и представление может быть создано в действиях концепции. Такая система должна быть спланирована правильно, поскольку она имеет большое значение для удобства использования и интерпретируемости записанных и данных.

В пункте «обмена информацией» определяется форма представления, т. е. как информация будет в дальнейшем использоваться или визуально представляться. Однако эта

деятельность сильно зависит от пользователя и предполагаемого использования, поэтому к ней нужно подходить очень индивидуально.

Таким образом, в статье описан методический подход к созданию представления цифрового двойника. Он включает в себя инструменты для поддержки их создания. Это XML-схема, позволяющая описывать в машиночитаемом формате концепцию, что значительно упрощает задачу создания цифрового двойника. Используемые данные извлекаются автоматически, при необходимости применяются непосредственно для дальнейших операций и визуализируются в цифровом двойнике. В результате данные не нужно искать трудоемким способом, что экономит время. Кроме того, поиск выбранных точек данных в ИТ-инфраструктуре с множеством участвующих систем и связанных с ними баз данных является сложной задачей. Необходимым условием, однако, является наличие информационной модели для продукта, для которого необходимо создать цифровой двойник. Однако этот процесс также упрощается благодаря методу, поскольку он предоставляет общую информационную модель. Еще одним важным преимуществом является расширяемость метода и создание библиотеки представлений. Это означает, что представления, которые уже были созданы, могут также использоваться другими пользователями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грошев И.В., Краснослободцев А.А., Эриашвили Н.Д. (2021) Региональная креативность и цифровой регионализм. Вестник Московского университета МВД России. № 2. С. 236–254.
2. Cenamor J., Parida V., Wincent J. (2019) How entrepreneurial SMEs compete through digital platforms: The roles of digital platform capability, network capability and ambidexterity. *Journal of Business Research* 100. 196–206.
3. Митрофанова Е.А., Митрофанова А.Е. (2020) Методические основы оценки готовности университета к внедрению цифровых технологий. Управление персоналом и интеллектуальными ресурсами в России. Том 9. Номер 2. С. 31–34.
4. Aleksandrov A.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. (2015) Uniform Methodology of the Risk analysis of Emergency Situations of Technogenic and Natural Character. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Natural Sciences*. 1(58):113–132.
5. Grieves M. (2020) Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication. *Digital Twin Manufacturing Excellence through Virtual_Factory_Replication*. Accessed 14 December 2020.
6. Прохоров А., Лысачев М. (2020) Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. — ООО «АльянсПринт». С. 401.
7. «20 Years Later, Digital Twins are the New ERP» by Dan Miklovic (2019) *Industrial Transformation Blog*, January 7, 2019 [Electronic resource]. — Available at: <https://blog.lnsresearch.com/digital-twinsareerp> (Accessed: 22.02.2022).
8. Zatsarinnyy A.A., Shabanov A.P. (2019) Model of a Prospective Digital Platform to Consolidate the Resources of Economic Activity in the Digital Economy. *Procedia Computer Science* 150 (2019) 552–557.

9. Акбердина В.В. (2018) Трансформация промышленного комплекса России в условиях цифровизации экономики. Известия УрГЭУ. Том 19. № 3. С. 82–99.
10. Bobrova V.V., Berezhnaya L.Yu. (2019) Digitization of the transport industry in Russia: problems and prospects. 1st International Scientific Conference "Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth" (MTDE).
11. Burkaltseva DD (2017) Points of Economic and Innovative Growth: a Model for Organizing the Effective Functioning of the Region. MIR (Modernization. Innovation. Research). 1(8): 8–30.

Pudovkina Olga Evgenievna

Samara State University of Economics
Syzran branch, Syzran, Russia
E-mail: olechkasgeu@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2993-7131>

Balashova Ekaterina Andreevna

Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia
E-mail: balashova419@gmail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1286-1046>

Bobkov Egor Olegovich

Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia
E-mail: warlocdestr@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9673-0838>

A methodical approach to creating representations of a digital twin within the framework of the concept of "digital production"

Abstract. Digital twins are one of the strategic directions of information technology development in today's digitalization environment. This article presents the key technologies and trends that led to the emergence of Digital Twin. The aim of the study was to develop a methodological approach for the design and implementation of digital twins in industry, involving the creation of XLM-scheme architecture of the digital twin, integrating various software systems into a single system. The authors have given a refined definition of the concept of a digital twin, the application of which will allow to extract the necessary information from various databases and to generate informational benefit by purposeful integration and linking of data in the Digital Twin. The result of the study is the developed concept of the method of representation of the digital twin options, based on the theory of the new industrial society and the shift of industrial paradigms. The advantage of the concept for industry in this article is emphasized by organizing the work with big data, which are integrated in the digital twin. The results generated will contribute to scientific research aimed at implementing digital manufacturing programs that can lead to industrial leadership in global markets.

Keywords: digitalization; digital twin; advanced industrial technology; XLM circuit; integration; industry; manufacturing; the fourth industrial revolution