

## ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### DIGITAL TWINS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN LIGHT INDUSTRY

Н.Н. ГУБАЧЕВ, Р.В. МОРОЗОВ, А.А. ГОРСКИЙ, Н.С. ОГУРЦОВА, И.С. БЕЛЯСОВ

N.N. GUBACHEV, R.V. MOROZOV, A.A. GORSKY, N.S. OGURTSOVA, I.S. BELYASOV

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: ogurtsova-ns@rguk.ru

*В статье рассматривается концепция цифровых двойников как виртуального представления физического объекта, которая распространена уже более 30 лет, в том числе в космической отрасли. В последние годы в связи с тотальной цифровизацией промышленных предприятий наметился качественный скачок в развитии и применении данной технологии.*

*Благодаря компьютерным технологиям появилась возможность создания моделей цифровых двойников практически для любой отрасли, любого бизнеса и бизнес-процесса. В связи с этим возникла потребность в специалистах, способных работать с цифровыми платформами, создавать цифровую среду, а также в управленцах, понимающих процесс создания цифровых моделей и двойников, способных выявлять в производственном процессе области и задачи, в которых цифровые модели будут необходимым и эффективным решением.*

*The article deals with the concept of digital twins as a virtual representation of a physical object, which is widespread for more than 30 years, including the space industry. In recent years, due to the total digitalization of industrial enterprises there has been a qualitative leap in the development and application of this technology.*

*Thanks to computer technology there is an opportunity to create digital twin models for virtually any industry, any business and business process. In this regard, there was a need for specialists who are able to work with digital platforms, create a digital environment, as well as managers who understand the process of creating digital models and twins, able to identify areas and tasks in the production process, in which digital models will be essential and effective solution.*

**Ключевые слова:** цифровой двойник, цифровая модель, промышленный интернет вещей, цифровизация легкой промышленности.

**Keywords:** digital twin, digital model, industrial internet of things, digitalization of light industry.

В современных условиях жесткой рыночной конкуренции побеждает тот участ-

ник рынка, кто находит преимущества и делает это быстрее других.

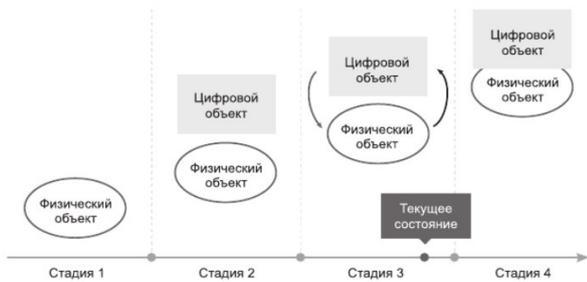


Рис. 1

Частью процесса принятия правильных решений в бизнесе, производстве, медицине, образовании, научных исследованиях, сельском хозяйстве и в других сферах деятельности человека является проверка гипотез, что всегда связано со значительными затратами ресурсов. Способом, существенно снижающим эти затраты, является использование цифрового близнеца, цифровой модели или цифрового двойника – математически-компьютерной модели, которая максимально близко копирует своего физического "брата", своего прототипа, путем виртуального воспроизведения реальных производственных процессов. На рис. 1 показана эволюция концепции цифровых двойников.

Первый этап соответствует периоду, когда физические объекты создавались без цифрового прототипа. Второй этап относится к периоду, когда искусственные объекты проектировались с помощью цифровой модели, которая использовалась только на стадии создания объекта. На третьем этапе начинается взаимодействие (обмен информацией) между физическим и цифровым двойниками. И, наконец, четвертый – характеризует сближение и "пересечение" физического и цифрового двойников, когда информационный обмен и обновление цифрового и физического двойников идет практически в реальном времени.

На рис. 2 представлена базовая концепция "Цифровой двойник".



Рис. 2

Появление цифровых двойников стало логичным результатом развития концепции цифрового производства и промышленного интернета вещей. Само понятие "цифровой двойник" достаточно новое, поэтому сегодня существуют различия в определении цифрового двойника между промышленными и научными кругами. Согласно промышленной интерпретации цифровой двойник представляет собой интегрированную модель готового продукта, который призван отражать все производственные дефекты и постоянно обновляться, чтобы учитывать износ продукции. Согласно научной интерпретации цифровой двойник описывается как цифровая модель физического объекта с поддержкой датчиков, которая имитирует объект в режиме реального времени. По сути, цифровой двойник можно определить как развивающийся цифровой профиль исторического и текущего поведения физического объекта или процесса, который помогает оптимизировать бизнес [2]. На рис. 3 показан процесс создания и использования цифровых двойников.



Рис. 3

Цифровой двойник может работать как в онлайн, так и в офлайн режимах. Информация, поступающая с реальных датчиков, сравнивается с показаниями виртуальных датчиков цифрового двойника, что позволяет выявлять аномалии и устанавливать причины их возникновения.

Цифровой двойник позволяет существенно расширить возможности облачных аналитических сервисов, используемых в концепции Промышленного Интернета Ве-

щей (IIoT = Industrial Internet of Things) четвертой промышленной революции [4].

На рис. 4 представлен процесс использования цифровых двойников.

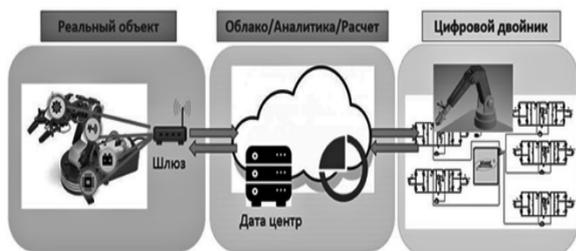


Рис. 4

Наиболее эффективным применение цифровых двойников является для продукции со следующими критериями:

- сопровождение продукции квалифицированным специализированным сервисом (контроль состояния, мониторинг, техническое сопровождение);
- длительный жизненный цикл изделия (более 5 лет);
- большое количество комплектов установленного оборудования;
- широкий диапазон и многообразие условий эксплуатации;
- труднодоступность изделия для проведения обслуживания.

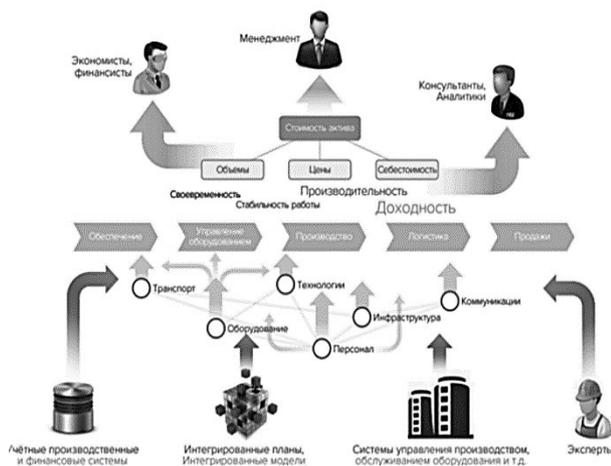


Рис. 6

Цифровой двойник как производственно-экономическая система включает в себя:

- оцифровка процессов цепочки создания стоимости (ЦСС);

– обеспечение единого унифицированного способа представления данных из всех ИТ-систем в рамках общей логики цифрового двойника;

– единая точка входа для всех потребителей управленческих данных (план-прогноз, факт, мониторинг, аналитика и т.д.);

– единое пространство коммуникаций всех участников (производство, обеспечение, экономика, финансы, менеджмент и т.д.) [1].

На рис. 5 показана производственно-экономическая система цифровых двойников.

Некоторые эксперты выделяют три типа двойников.

ДТР (прототип) – виртуальный аналог имеющегося в реальности физического объекта. Он включает в себя данные для всесторонней характеристики модели, в том числе информацию по его созданию в реальных условиях. Это требования к производству, трехмерная модель объекта, описание технологических процессов и услуг, требования к утилизации.

ДТИ (экземпляры) – данные по описанию физического объекта. Чаще всего содержат аннотированную трехмерную модель, данные о материалах, используемых в прошлом и настоящем времени, и компонентах, информацию о выполняемых процессах во всех временных отрезках, итоги тестов, записи о проведенных ремонтах, операционные данные, полученные от датчиков, параметры мониторинга.

ДТА (агрегированный двойник) – вычислительная система, которая объединяет все цифровые двойники и их реальные прототипы и позволяет собирать данные и обмениваться ими [3].

Крупные мировые компании активно используют технологии цифровых двойников. Например, GE (Дженерал Электрик) – лидер в технологии цифровых двойников. Для поиска трещин в работающих двигателях компания использует комбинацию аналитики на основе искусственного интеллекта и визуальных данных, получаемых с датчиков совсем маленьких роботов (размером со спичечный коробок). Инновационные камеры способны обнаруживать трещины даже на грязных или ржавых лопа-

стях турбин. Визуальные датчики на дронах выполняют проверку наличия коррозии в шахтах газосжигающих башен высотой 200 футов в местах нефтяных месторождений [5].

Tesla Motors – еще одна компания, активно инвестирующая в технологию цифровых двойников. Это делается с целью предоставления качественного сервиса и обеспечения высокого уровня безопасности владельцев автомобилей. Tesla создает цифровой двойник для каждого автомобиля, который она продает. Затем на основе сведений, собранных с датчиков индивидуальных транспортных средств, Tesla обновляет программное обеспечение и загружает новые версии в свои продукты. Выстроенный по такой схеме и основанный на данных процесс разработки программного обеспечения позволяет более эффективно распределять ресурсы внутри компании и наиболее удобен для пользователя автомобиля.

Компания Bosch на своих заводах сравнивает данные производственных датчиков с показателями цифрового двойника производственной линии, работающей на 100% эффективно. Выявляемые отклонения тут же подлежат отладке, а аварийные участки идентифицируются намного точнее и проще. Объединение двух "умных" производственных линий на 25% повысило производительность программы электронной стабильности и систем автоматической остановки [1].

Цифровые двойники также активно используются и российскими компаниями, такими как "Газпром Нефть", "МТС", "Мегафон", "Камаз" и т.д. [8].

Омский государственный технический университет совместно с испанской IT-компанией Senstile (Бильбао) работают над созданием технического решения, позволяющего осуществлять идентификацию и выбор текстильных материалов онлайн по цифровым двойникам. Это стало особенно актуально в период пандемии, когда появились проблемы с пересылкой образцов тканей, были приостановлены международные выставки, ограничены личные контакты.

В состав рабочей группы по реализации проекта "Формирование обучающей выборки для создания цифровых двойников текстильных материалов" вошла основатель компании Senstile Жанна Найманханова. В дальнейшем планируется привлечение к исследованию студентов в рамках дисциплины "Проектная деятельность" [6].

Для исследования требуется разработка комплекса устройств в виде сенсоров, способных "считывать" нужную информацию в виде характеристик или признаков с физических образцов материалов. Устройство должно уметь выбирать и интерпретировать считанные признаки, преобразуя их в формат цифрового двойника материала. Он представляет собой копию материала, которая содержит информацию о его характеристиках – цвете, составе, строении и другом.

Разработчиками проведен предварительный эксперимент, который показал, что сенсор успешно может распознать цвет, рисунок и геометрические характеристики материала, а разработанный алгоритм – построить 3D-модель и провести кластеризацию объектов. Для решения задачи распознавания материала используется машинное обучение, которое позволяет алгоритму научиться распознавать шаблоны, делать прогнозы и многое другое. Для решения этой задачи было отобрано 250 образцов различных текстильных материалов, отличающихся способом получения, сырьевым составом и строением [2].

Работа по идентификации, прогнозированию отдельных свойств материалов ведется давно разными научно-исследовательскими коллективами, но полноценного цифрового двойника, содержащего информацию обо всех характеристиках материала, пока не создано.

## ВЫВОДЫ

Проведенный нами анализ образцов показал, что практически все свойства текстиля зависят от его вида и сырьевого состава, показателей строения, поэтому мы определили следующие признаки распознавания материала: вид материала, перепле-

тение, поверхностная плотность, толщина, сырьевой состав и вид нити. Полученные данные необходимы для идентификации материала и обучения модели. Идентифицирующие признаки будут использованы и для будущих исследований свойств материалов. "Также будет определено, какие конкретно признаки и насколько точно сможет сенсор считывать, как алгоритм проклассифицирует материалы", – говорит заведующая кафедрой "Конструирование и технологии изделий легкой промышленности" ОмГТУ Маргарита Чижик.

Таким образом, следует сделать вывод, что с цифровыми моделями можно проводить широкий спектр опытных вариаций, проверять самые смелые гипотезы, их можно тестировать в различных условиях, проводя эксперименты в короткие сроки и с минимальными затратами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bolton R. N. et al. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms // J. of Service Management. – 2018. Vol. 29. P.776...808.
2. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Kahlen F. J., Flumerfelt S., Alves A. (Eds). Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Cham: Springer. – 2017. P. 85...113. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7\_4.
3. Mittal S., Khan M. A., Romero D., Wuest T. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2019. Vol. 233(5). P. 1342...1361. DOI: 10.1177/0954405417736547.
4. Дозорцев В.М. Цифровые двойники в промышленности: генезис, состав, терминология, технологии, платформы, перспективы. – Часть 1. Возникновение и становление цифровых двойников. Как существующие определения отражают содержание и функции цифровых двойников? // Автоматизация в промышленности. – 2020, № 9. С. 3...11.
5. Прохоров А., Лысачев М. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт / Научн. ред. проф. Боровков А.– М.: ООО "АльянсПринт", 2020.
6. Курганова Н.В., Филин М.А., Черняев Д.С., Шаклеин А.Г., Намиот Д.Е. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства // International Journal of Open Information Technologies. – 2019, №5. С.105...117.
7. Кокорев Д.С., Посмаков Н.П. Применение "Цифровых двойников" в производственных про-

цессах // Colloquium-journal. – 2019, №26 (50).

8. Краснов Ф.В., Хасанов М.М. Цифровой двойник научной организации: подходы и методики // International Journal of Open Information Technologies. – 2019, №6.

9. Шпак П.С., Сычева Е.Г., Меринская Е.Е. Концепция цифровых двойников как современная тенденция цифровой экономики // Вестник ОмГУ. Серия: Экономика. – 2020, №1. С. 57...68.

10. Назаров В.Н. Цифровой двойник как субъект информационной этики // Этическая мысль. – 2020, №1. С. 142...154.

11. Фролова А.В., Копылова Л.Е. Цифровые двойники в высокотехнологичном производстве: новые инструменты цифровой экономики // Успехи в химии и химической технологии. – 2020, №1 (224). С. 32...34.

12. Yumussov M.B., Yessirkepova A.M., Mashirova T.N., Rysbayeva S.ZH., Sarieva ZH.A. Peculiarities of formation of a personnel management model in the enterprises of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №3. P. 36...43.

#### REFERENCES

1. Bolton R. N. et al. Customer experience challenges: bringing together digital, physical and social realms // J. of Service Management. – 2018. Vol. 29. P.776...808.
2. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Kahlen F. J., Flumerfelt S., Alves A. (Eds). Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Cham: Springer. – 2017. P. 85...113. DOI: 10.1007/978-3-319-38756-7\_4.
3. Mittal S., Khan M. A., Romero D., Wuest T. Smart manufacturing: Characteristics, technologies and enabling factors // Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2019. Vol. 233(5). P. 1342...1361. DOI: 10.1177/0954405417736547.
4. Dozortsev V.M. Digital twins in industry: genesis, composition, terminology, technologies, platforms, prospects. - Part 1. The emergence and development of digital twins. How do the existing definitions reflect the content and functions of digital twins? // Automation in industry. - 2020, No. 9. S. 3 ... 11.
5. Prokhorov A., Lysachev M. Digital twin. Analysis, trends, world experience / Nauchn. ed. prof. Borkovkov A.– M.: LLC "AlliancePrint", 2020.
6. Kurganova N.V., Filin M.A., Chernyaev D.S., Shaklein A.G., Namiot D.E. The introduction of digital twins as one of the key areas of digitalization of production // International Journal of Open Information Technologies. - 2019, No. 5. P.105...117.
7. Kokorev D.S., Posmakov N.P. Application of "Digital twins" in production processes // Colloquium-journal. - 2019, No. 26 (50).

8. Krasnov F.V., Khasanov M.M. Digital Twin of a Scientific Organization: Approaches and Methods // International Journal of Open Information Technologies. - 2019, No. 6.

9. Shpak P.S., Sycheva E.G., Merinskaya E.E. The concept of digital twins as a modern trend in the digital economy // Vestnik OmGU. Series: Economy. - 2020, No. 1. pp. 57...68.

10. Nazarov V.N. Digital Twin as a Subject of Information Ethics // Ethical Thought. - 2020, No. 1. pp. 142...154.

11. Frolova A.V., Kopylova L.E. Digital twins in high-tech production: new tools of the digital economy

// Advances in chemistry and chemical technology. - 2020, No. 1 (224). S. 32...34..

12. Yunussov M.B., Yessirkepova A.M., Mashirova T.N., Rysbayeva S.ZH., Sariyeva ZH.A. Peculiarities of formation of a personnel management model in the enterprises of the textile industry // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, №3. P. 36...43.

Статья опубликована по материалам Косыгинского форума. Поступила 11.01.22.

---