

УДК 001.891:519.711

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЙ

О. Д. КАЗАКОВ

Брянский государственный инженерно-технологический университет
Брянск, Россия

Публикации на тему цифровых двойников являются одними из самых цитируемых в российской национальной и международных библиографических базах данных научного цитирования. Однако проблема разработки цифровых двойников именно бизнес-процессов на сегодняшний день является недооцененной как отечественными, так и зарубежными исследователями. Исследования в этом направлении можно кластеризовать по нескольким группам: первая группа посвящена изучению цифровых двойников технологических процессов [2, 5, 7, 9], вторая группа исследователей рассматривает цифровые двойники как цифровые двойники предприятий в целом [3, 6, 8, 11]. На первый взгляд, можно было бы ассоциировать бизнес-процессы предприятия с его технологическими процессами, однако специфика последних больше похожа на специфику цифровых двойников изделий и оборудования и не может быть адаптирована к бизнес-процессам. В то же время неверным было бы отождествлять цифровой двойник бизнес-процессов организации с цифровым двойником предприятия, поскольку предприятие прежде всего является обособленным хозяйствующим субъектом и не соотносится с категорией «процесс».

В современных исследованиях в области оптимизации бизнес-процессов цифровые двойники процессов часто рассматриваются с позиции имитационного моделирования. Однако это некорректно, т. к. концепция цифрового двойника должна предусматривать наличие программно-аналитического интерфейса между реальным и цифровым процессом.

Авторское определение категории цифрового двойника бизнес-процессов представляет собой подход к базовой структуре цифровых двойников, в которой выделяется четыре уровня:

- 1) киберфизический уровень;
- 2) уровень извлечения и препроцессинга данных;
- 3) уровень моделей и алгоритмов;
- 4) уровень визуализации и интерфейсов.

Наиболее интересна авторская концепция визуального представления цифрового двойника, отраженная на рис. 1.

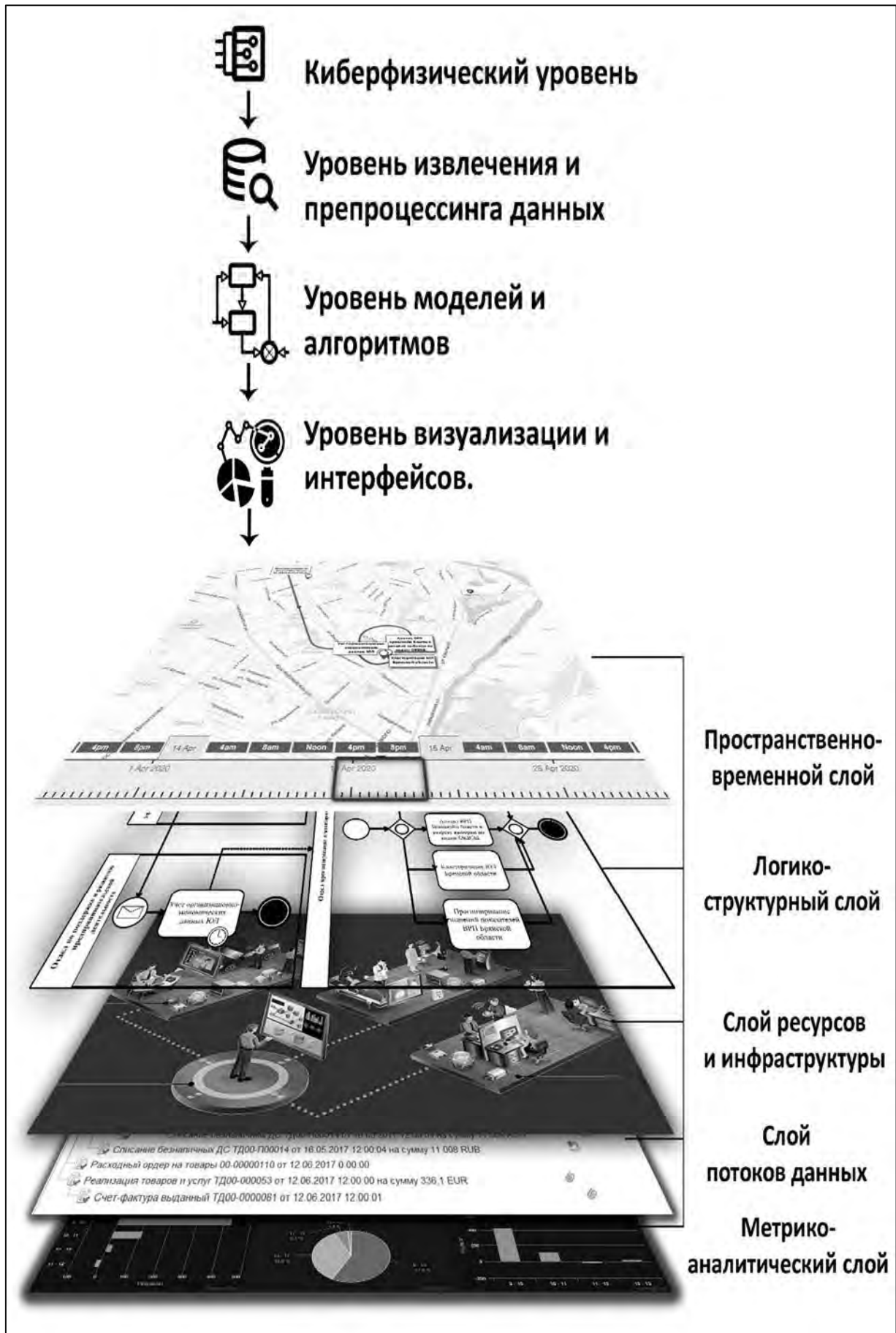


Рис. 1. Архитектура цифрового двойника бизнес-процесса [1]

Данная концепция основывается на многослойной модели представления цифрового двойника бизнес-процесса, которая предполагает:

1) реализацию части виртуального представления бизнес-процесса, которая отражает фактическое исполнение экземпляра бизнес-процесса в географическом (пространственном) и временном измерениях. В программном интерфейсе класса бизнес-процесса реализуется метод, возвращающий изображения элементов бизнес-процесса (в нотации BPMn), исполненного до определенного времени по данным киберфизического уровня. В рамках хореографии процесса, если участники бизнес-процесса территориально удалены друг от друга, данные о географических координатах участников передаются в методы API картографических сервисов с последующей реализацией необходимой геоаналитики;

2) реализацию логико-структурного слоя виртуального представления цифрового двойника бизнес-процесса, который реализует в себе высокоточную модель процесса в виде структуры со свойствами элементов и связями между ними. Слой в том числе отражает события, действия, переходы, объекты данных, входные и выходные данные, хранилища данных, потоки операций и сообщений, зоны ответственности и другие артефакты, связанные с реальным бизнес-процессом;

3) реализацию виртуального представления комплексной структуры, объединяющей все виды ресурсов, задействованных в рамках экземпляра бизнес-процесса;

4) реализацию виртуального представления потоков данных, результатов выполнения операций создания, операций изменения и выборки данных при исполнении экземпляра бизнес-процесса;

5) реализацию метрико-аналитического слоя виртуального представления цифрового двойника бизнес-процесса, включая систему дашбордов, отражающих прикладные показатели исполнения процесса.

Для построения любого слоя экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса необходимо получить соответствующие данные с каждого уровня его базовой структуры, т. е. потоки данных и операций на уровнях базовой структуры могут разделяться по назначению слоя.

Первым шагом создания виртуального представления экземпляра бизнес-процесса является исследование модели всего класса по результатам Process mining. Process mining – совокупность методов и подходов, предназначенных для построения моделей бизнес-процессов на основании изучения системных данных, зафиксированных в журналах событий о выполненных операциях.

Отправной точкой построения модели бизнес-процесса является построение сетей Петри. Под сетью Петри (СП) понимается ориентированный двудольный граф: $СП = (P, T, F, V, R, H)$, где P – конечное множество состояний; T – конечное множество переходов, при этом $P \cap T = \emptyset$, $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ – множество направленных дуг, называемое отношением маршрутизации [10]; V – множество строковых имен; $R(T):V \rightarrow V$ – функция именования переходов; $H(T):T \rightarrow \{1,0\}$ – функция задания скрытых переходов. Переход t называется скрытым, если $H(t) = 1$, в противном случае переход называется явным.

Для выявления экземпляра бизнес-процесса необходимо определить соответствие события e экземпляру процесса и перехода t СП, когда $Cl_s(e) = R(t)$.

На текущий момент времени существует несколько программных библиотек, которые реализуют алгоритмы Process mining. В данном исследовании рекомендуется использовать алгоритм IMDFb – реализацию алгоритма Inductive Miner, целью которого является создание надежной модели бизнес-процессов и в большинстве случаев обеспечение идеальной пригодности к восстановлению.

Вышепредставленная концепция цифрового двойника бизнес-процессов позволит управлять бизнес-процессами предприятий на основе достоверных фактических данных, получаемых в реальном времени по событиям, действиям, переходам, объектам данных, потокам данных и сообщений бизнес-процессов предприятия.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-00180.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Казаков, О. Д.** Цифровые двойники бизнес-процессов: пространственно-временной слой / О. Д. Казаков, Н. Ю. Азаренко // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. – 2022. – № 4/2. – С. 60–67.
2. **Aguirre, S.** Automation of a business process using robotic process automation (RPA). A case study / S. Aguirre, A. Rodriguez // Applied Computer Sciences in Engineering. – 4th Workshop on Engineering Applications, WEA 2017, Cartagena, Colombia, 27–29 september 2017, Proceedings 4. – Springer International Publishing, 2017. – P. 65–71.
3. Cognitwin-hybrid and cognitive digital twins for the process industry / S. Abburu [et al.] // 2020 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). – IEEE, 2020. – P. 1–8.
4. Digital twin reference model development to prevent operators' risk in process plants / M. Bevilacqua [et al.] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, № 3. – С. 1088.
5. Exploring the role of digital twin for asset lifecycle management / M. Macchi [et al.] // IFAC-PapersOnLine. – 2018. – Vol. 51, № 11. – P. 790–795.
6. **Melesse, T. Y.** Digital twin models in industrial operations: A systematic literature review / T. Y. Melesse, V. Di Pasquale, S. Riemma // Procedia Manufacturing. – 2020. – Vol. 42. – P. 267–272.
7. **Park, G.** Realizing a digital twin of an organization using action-oriented process mining / G. Park, W. M. P. Van Der Aalst // 2021 3rd International Conference on Process Mining (ICPM). – IEEE, 2021. – P. 104–111.
8. **Perno, M.** Implementation of digital twins in the process industry: A systematic literature review of enablers and barriers / M. Perno, L. Hvam, A. Haug // Computers in Industry. – 2022. – Vol. 134. – 103558 p.
9. **Popova, S. V.** Narrow-domain Short Texts Clustering Algorithm / S. V. Popova, I. A. Khodyrev // Web of Data. The joint RuSSIR/EDBT 2011 Summer School, 15–19 august 2011, Proceedings of the Fifth Russian Young Scientists Conference in Information Retrieval / B. Novikov, P. Braslavsky (Eds.). – St.-Petersburg, 2011. – P. 30–39.
10. The development of digital twin technology review / J. Wu [et al.] // 2020 Chinese Automation Congress (CAC). – IEEE, 2020. – P. 4901–4906.
11. An adapted model of cognitive digital twins for building lifecycle management / I. Yitmen [et al.] // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, № 9. – 4276 p.