

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ: ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ СЛОЙ

DIGITAL TWINS OF BUSINESS PROCESSES: SPATIO-TIME LAYER

**O. Kazakov
N. Azarenko**

Summary. This paper presents an approach to the formation of the basic structure of digital twins of business processes at the cyber-physical level, the level of extraction, the level of data preprocessing, the level of models and algorithms, the level of visualization and interfaces. In the context of the virtual representation of the digital twin of a business process in the form of a multilayer structure, special attention is paid to the space-time layer. This approach made it possible to monitor the actual execution of a business process instance in geographical and temporal dimensions. The results of this study will make it possible to manage the business processes of socio-economic systems based on reliable factual data obtained in real time on all aspects of their execution, including taking into account spatio-temporal detail.

Keywords: digital twins, business processes, process modeling, space-time layer.

Казаков Олег Дмитриевич

К.э.н., ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»
it.kazakov@yandex.ru

Азаренко Наталья Юрьевна

К.э.н., ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»
salovanat@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлен подход к формированию базовой структуры цифровых двойников бизнес-процессов на киберфизическом уровне, уровне извлечения, уровне препроцессинга данных, уровне моделей и алгоритмов, уровне визуализации и интерфейсов. В контексте виртуального представления цифрового двойника бизнес-процесса в виде многослойной структуры особое внимание уделяется пространственно-временному слою. Данный подход позволил проводить мониторинг фактического исполнения экземпляра бизнес-процесса в географическом и временном измерениях. Результаты данного исследования позволят управлять бизнес-процессами социально-экономических систем на основе достоверных фактических данных, получаемых в режиме реального времени по всем аспектам их исполнения, в том числе с учетом пространственно-временной детализации.

Ключевые слова: цифровые двойники, бизнес-процессы, моделирование процессов, пространственно-временной слой.

Введение

Понятие «Цифровой двойник» впервые было рассмотрено Michael Grieves в 2003 году. Автор поверхностно описал цифрового двойника как трехмерный концептуальный класс, включающий физический объект, виртуальный его аналог и интерфейс между ними (Grieves, 2005).

В настоящее время категория цифрового двойника применима для различных объектов: цифровой двойник изделия, цифровой двойник предприятия, цифровой двойник города, цифровой двойник технологического процесса, цифровой двойник города.

Несмотря на усилившийся научный интерес к исследованиям, связанными с цифровыми двойниками в последние пять лет, и повышение публикационной активности, остается нерешенной важнейшая научная проблема применения цифровых двойников к бизнес-процессам. Вместе с тем актуальность подобных исследований, обусловлена продолжающейся цифро-

вой трансформацией предприятия, в том числе и подходов к управлению бизнес-процессами. Справедливости ради, надо отметить, что есть работы, в которых рассматриваются имитационные модели бизнес-процессов в качестве цифровых двойников (Zakoldaev et al., 2018). Однако, по нашему мнению, это некорректно, т.к.:

- ◆ Концепция цифрового двойника предусматривает наличие программно-аналитического интерфейса между физическим и цифровым объектом.
- ◆ Физический объект и его цифровая копия должны взаимодействовать в режиме реального времени.
- ◆ Обмен информацией между физическим объектом и его цифровой копией характеризуется большими данными, которые генерируются множеством датчиков.

Научными конкурентами также в этой области являются (Ayani, M. et al., 2018), которые выделяют геометрический, кинематический, логический и интерфейсный уровень в модели цифрового двойника промышленного оборудования.

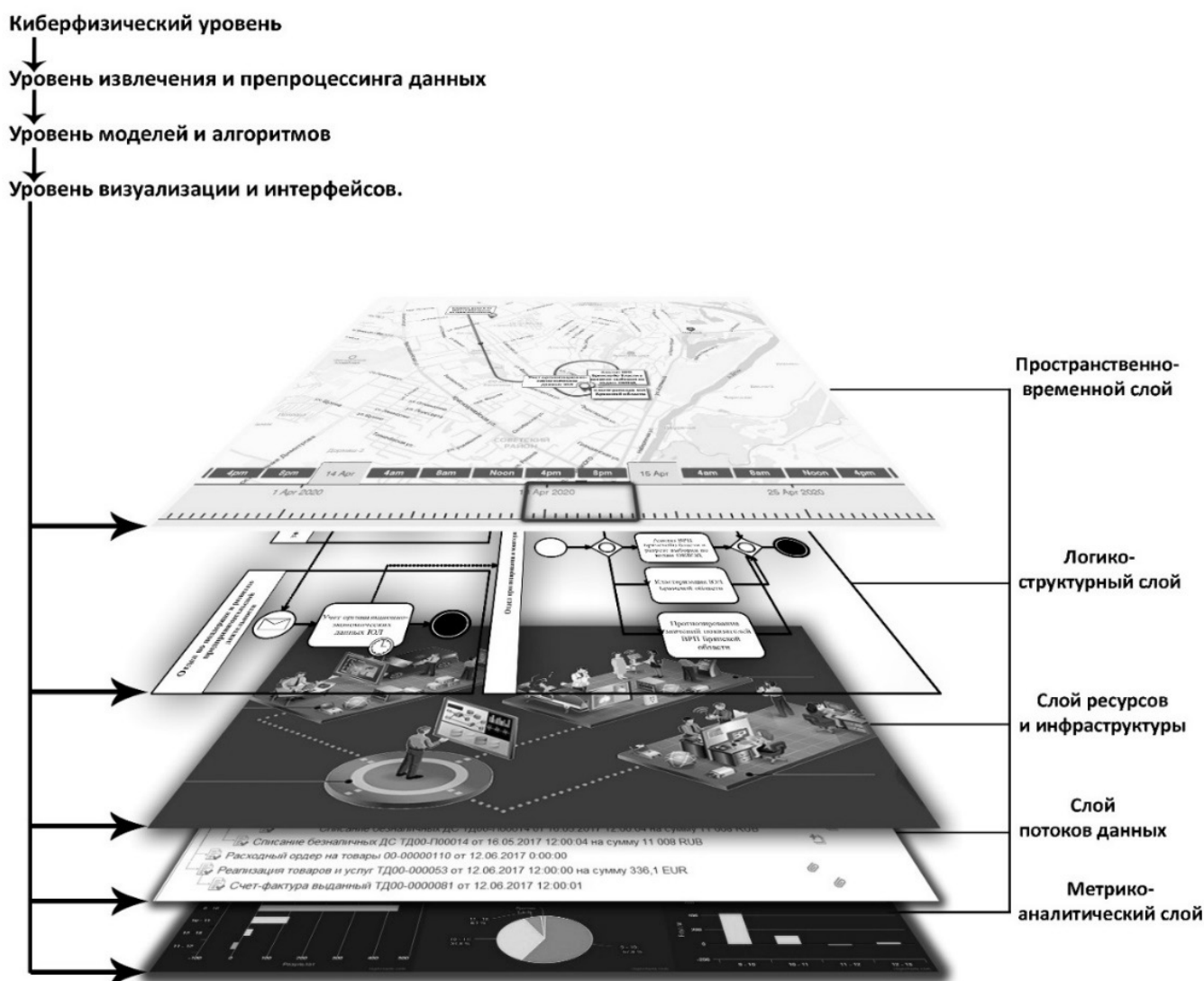


Рис. 1. Предлагаемое интерактивное виртуальное представление цифрового двойника бизнес-процесса

Цель научной статьи — представить подход к формированию базовой структуры цифровых двойников бизнес-процессов, особое внимание уделить пространственно-временному слою.

Методы и алгоритмы

В базовой структуре цифровых двойников бизнес-процессов предлагается выделить следующие уровни:

Киберфизический уровень. В контексте киберфизического уровня все программно-аппаратные компоненты, поддерживающие бизнес-процесс тесно переплетены со всеми элементами бизнес-процессов (Shahriar et

al., 2018). Такая система связей должна работать в разных пространственных и временных масштабах, а также поддерживать разные поведенческие модели, которые меняются в зависимости от условий (Tao, Qi, et al., 2019). Для реализации этого целесообразно применять датчики с интерфейсами по стандартам LoRaWAN или NB-IoT, а также соответствующим образом необходимо настроить подсистемы логирования учетных информационных систем предприятия (Yun et al., 2017).

Уровень извлечения и препроцессинга данных. В контексте этого уровня осуществляется извлечение данных из различных источников в одно хранилище данных, где они систематизируются и проходят процедуру препроцессинга. Результаты такой обработки необходимы для

уровня моделей и алгоритмов, а также для уровня визуализации и интерфейсов базовой структуры цифровых двойников.

На этом уровне необходимо выполнить следующие шаги:

- ◆ Извлечение нетипизированных данных из киберфизического уровня. На данном этапе выгружаются данные с подсистемы логирования учетных информационных систем предприятия, снимаются показания с системы датчиков и т.д.
- ◆ Первичная обработка данных. На этом этапе происходит систематизация, очистка и проверка данных.
- ◆ Загрузка данных. На этом этапе осуществляется загрузка данных в реляционную или нереляционную базу данных.

Уровень моделей и алгоритмов. На этом уровне формируется система взаимосвязанных моделей поведения цифрового двойника бизнес-процесса. Разрабатываются или адаптируются алгоритмы управления виртуальными копиями на основе данных и знаний, полученных уже при их исследовании.

Уровень визуализации и интерфейсов. На этом уровне предлагается формировать многомасштабное виртуальное представление цифрового двойника бизнес-процесса (Рисунок 1). Этот уровень должен представлять собой интерактивную многофункциональную среду управления цифровыми двойниками на основе конкретных значений параметров тех или иных их элементов.

Виртуальное представление цифрового двойника бизнес-процесса, по нашему мнению, должно быть реализовано в виде многослойной структуры, включающей в базовом варианте следующие слои:

1. Пространственно-временной слой. Это часть виртуального представления бизнес-процесса отражает фактическое исполнение экземпляра бизнес-процесса в географическом (пространственном) и временном измерениях.
2. Логико-структурный слой. Этот слой содержит 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. Слой ресурсов и инфраструктуры. Это виртуальное представление комплексной структуры, объединяющей все виды ресурсов, задействованных в рамках экземпляра бизнес-процесса.

4. Слой потоков данных. Это виртуальное представление потоков данных, результатов выполнения операций создания, операций изменения и выборки данных при исполнении экземпляра бизнес-процесса.
5. Метрико-аналитический слой. Это система дашбордов, отражающих все 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 разделяются по назначению слоя.

Для создания пространственно-временного слоя экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса необходимо получить соответствующие данные об исполнении процесса в географическом (пространственном) и временном измерениях. Для формирования каркаса слоя требуется определить, какие действия в контексте бизнес-процесса выполнены на текущий момент времени, с какими географическими координатами можно ассоциировать эти действия, а также необходимо знать, когда и как долго эти действия выполнялись.

Эти данные можно получить из киберфизического уровня, уровня извлечения и препроцессинга данных базовой структуры экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса.

Для это необходимо настроить подсистемы логирования учетных информационных систем предприятия того или иного класса (ERP, CRM, SCM, WMS и т.п.). Это позволит накапливать объективную информацию об элементах исполняемого экземпляра бизнес-процесса в соответствующих журналах событий (подсистемах логирования). Эти журналы представляют собой файлы, в которых сохраняется информация о последовательности выполнения операций. Соответствующий программный интерфейс (API) позволяет получать доступ к журналу и просматривать существующие записи. Особенностью в рамках создания пространственно-временного слоя экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса является необходимость включения в логи бизнес-процессов данных о географических координатах, привязанных к действию процесса.

Следующим шагом построения пространственно-временного слоя цифрового двойника бизнес-процесса является анализ данных о географических координатах, привязанных к действию процесса. Как уже было упомянуто выше, эти данные должны быть включены в журнал событий. В случае небольшой территориаль-

Таблица 1. Атрибуты для настройки журнала [11]

Атрибут
Данные и события
CALL
Входящий удаленный вызов
CONN
Установка или разрыв TCP-соединения между процессами системы «1С 8.3»
EDS
Все события внешних источников данных
DBMSSQL
Исполнение операторов SQL СУБД Microsoft SQL Server
PROC
Событие, относящееся к процессу целиком и влияющие на дальнейшую работоспособность процесса. Например: старт, завершение, аварийное завершение и т.п.
SCALL
Исходящий удаленный вызов
SDBL
Исполнение запросов к модели базы данных 1С: Предприятия 8.3
SESN
Действие, относящиеся к сеансу работы. Например: начало сеанса, окончание сеанса и т.д.
SRVC
События, связанные с запуском, остановкой и оповещениями сервисов кластера серверов
VRSREQUEST
Запрос к серверу за некоторым ресурсом
VRSRESPONSE
Ответ сервера
SYSTEM

Системные события механизмов платформы, предназначенные для анализа сотрудниками фирмы «1С»

ной зоны исполнения процесса, например, в рамках одного помещения, в логи бизнес-процесса необходимо включать данные от соответствующих датчиков перемещения сотрудников по территории предприятия. Процедуру мониторинга перемещения сотрудников в рамках ограниченного пространства (в цехах, офисных кабинетах), можно реализовать с помощью следующих технологий:

- ◆ UHF RFID;
- ◆ Wi-Fi (например, Ekahau);
- ◆ Bluetooth (например, iBeacon).

Для отображения на карте элементов экземпляра или всего класса бизнес-процесса используются соответствующие API картографических сервисов.

Данные по конкретному экземпляру бизнес-процесса на карте должны располагаться и во временном измерении. Для этого на карту встраивается Timeline, где в хронологическом порядке представлены события

и другие элементы процесса. Данные для Timeline также поступают из журнала событий.

Экспериментальные исследования

В данной работе исследуется бизнес-процесс учета в разрезе кодов ОКВЭД и анализа юридических лиц одного из субъектов Российской Федерации, а именно Брянской области.

На киберфизическом уровне экземпляра цифрового двойника данного бизнес-процесса основным компонентом является учетно-аналитическая система на российской платформе 1С: Предприятие 8.

В целях реализации Process mining на локальных дисках серверов приложений 1С подключен технологический журнал. Для восстановления процесса, выполняется анализ следующих атрибутов технологического журнала 1С (Таблица 1):

```

▶ from pm4py.algo.discovery.inductive import factory as inductive_miner

net, initial_marking, final_marking = inductive_miner.apply(log)
    
```

Рис. 2. Обнаружения процессов с помощью pm4py [12]

```

▶ from pm4py.objects.conversion.petri_to_bpmn import factory as bpmn_converter

bpmn_graph, elements_correspondence, inv_elements_correspondence,
el_corr_keys_map = bpmn_converter.apply(net, initial_marking, final_marking)
    
```

Рис. 3. Конвертация сети Петри в диаграмму BPMN [2]

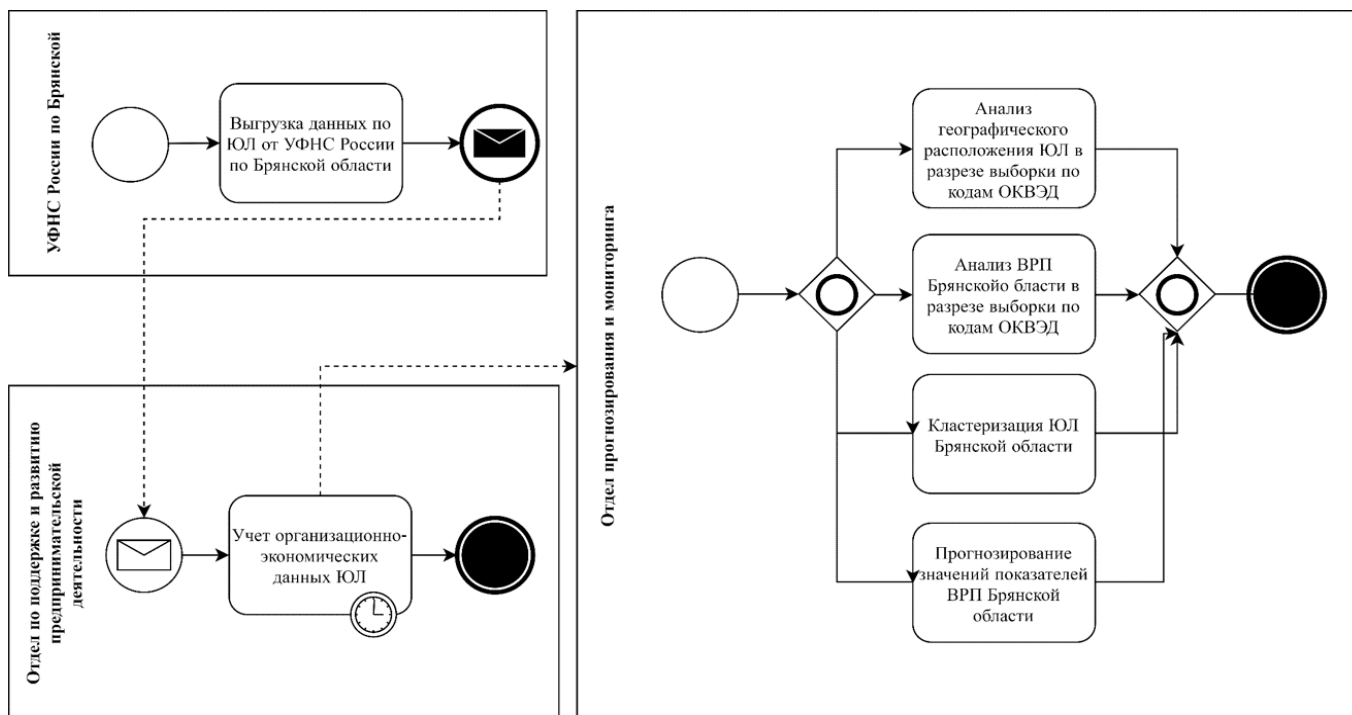


Рис. 4. Восстановленный в нотации BPMN класс бизнес-процесса учета и анализа юридических лиц Брянской области

Технологический журнал был сконvertирован в файл XES.

С помощью программной библиотеки pm4py был реализован алгоритм обнаружения процессов Inductive miner (Рисунок 2) (Berti, 2019):

Полученную сеть Петри также с помощью программной библиотеки pm4py сконvertировали в диаграмму BPMN (Рисунок 3) (Berti et al., 2019):

Таким образом, с помощью метода bpmn_converter был сформирован класс «bpmn_graph», который и является классом исследуемого бизнес-процесса учета и анализа юридических лиц Брянской области, представленного в нотации BPMN на рисунке 4:

В соответствии с сформированным классом процесса и на основе данных технологического журнала 1С была разработана функция возвращающая часть биз-

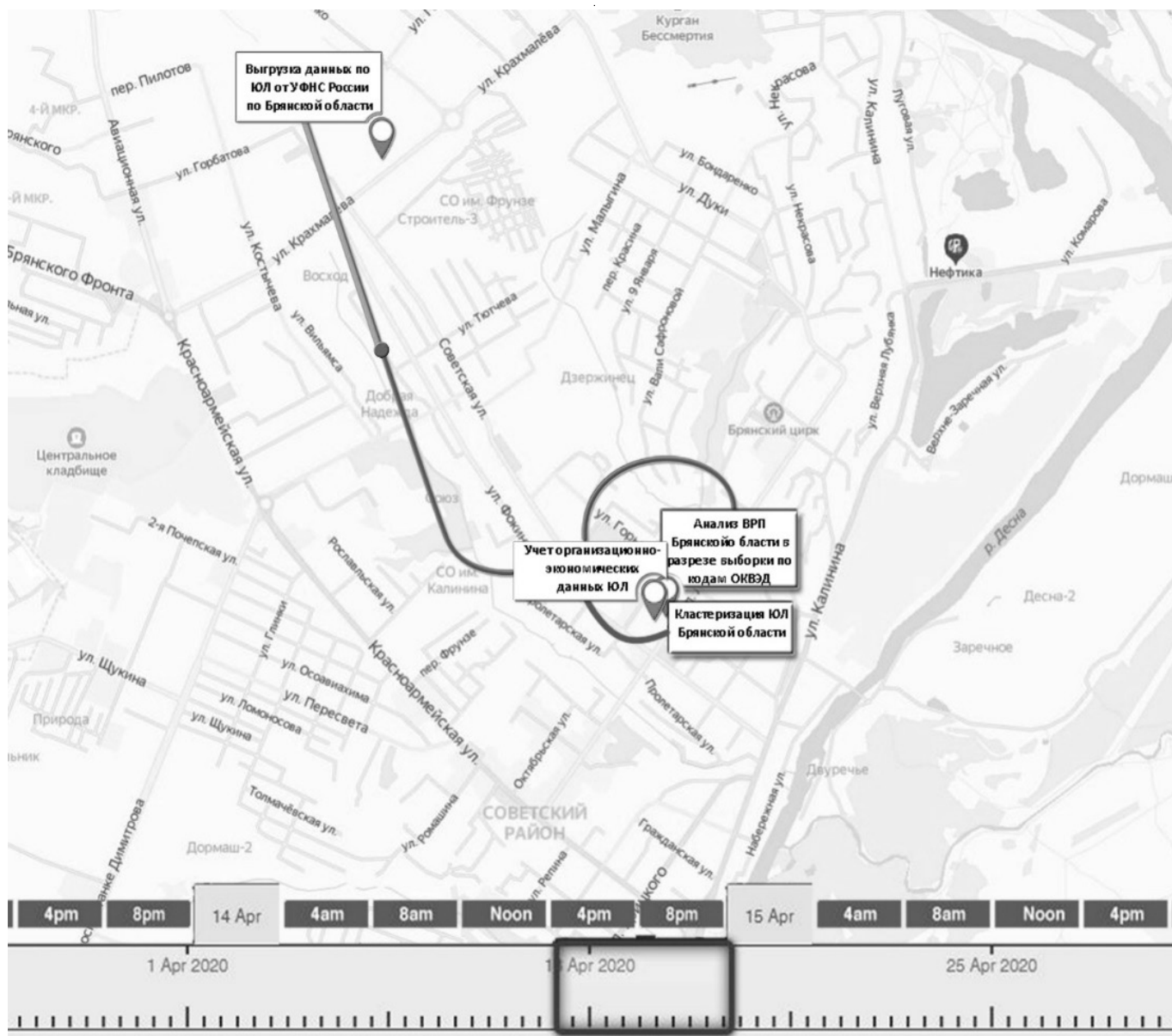


Рис. 5. Пространственно-временной слой экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса учета и анализа юридических лиц Брянской области под идентификатором 47

нес-процесса, исполненную до определенного времени. Это послужило основой для возможности отображения состояния экземпляра исследуемого бизнес-процесса на географической карте в хронологическом порядке. Для создания пространственно-временного слоя экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса применялись API Яндекс.Карт, а именно JavaScript API и HTTP Геокодер.

Результаты

На рисунке 5 представлен, созданный в результате проделанных процедур, пространственно-временной

слой экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса учета и анализа юридических лиц Брянской области под идентификатором 47.

В рамках данного слоя отображены выполненные задачи экземпляра бизнес-процесса по данным технологического журнала. При этом зеленой обводкой выделены задачи и потоки управления, которые выполнены на момент времени, определенного на Timiline. В сером цвете представлены задачи, которые были выполнены после момента времени, определенного на Timiline. Так, на 16:00 (MSK) 14 апреля 2020 года была выполнена первая задача в пуле УФНС России по Брянской области.

По данному визуальному представлению сам экземпляр бизнес-процесса полностью соответствует своему классу, представленному на рисунке 4. Как видно, при прохождении неисключающего шлюза в пуле отдела прогнозирования и мониторинга токен процесса перешел к задаче «Кластеризация ЮЛ Брянской области» и к задаче «Анализ ВРП Брянской области в разрезе выборки по кодам ОКВЭД». Другие две задачи не были выполнены, но это не нарушает описание класса бизнес-процесса.

Надо заметить, что предлагаемый подход к формированию пространственно-временного слоя экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса целесообразно применять при моделировании Choreography в нотации BPMN. Это обусловлено тем, что Choreography Diagram отражает взаимодействие между участниками бизнес-процесса, которые могут располагаться территориально удаленно друг от друга. Так в исследуемом процессе участник «УФНС России по Брянской области» располагается по координатам 53.2629, 34.3448, а участник «Отдел прогнозирования и мониторинга» по координатам 53.242942, 34.362581

Заключение

Результаты исследований вопросов разработки и использования цифровых двойников бизнес-процессов позволят управлять ими на основе достоверных фактических данных, получаемых в режиме реального времени по всем аспектам исполнения бизнес-процессов, в том числе с учетом пространственно-временной детализации.

В базовой структуре цифровых двойников бизнес-процессов мы выделили следующие уровни: киберфизический уровень; уровень извлечения и препроцессинга данных; уровень моделей и алгоритмов; уровень визуализации и интерфейсов. В рамках виртуального представления бизнес-процесса значимую роль играет пространственно-временной слой, который отражает

фактическое исполнение экземпляра бизнес-процесса в географическом (пространственном) и временном измерениях.

В данной работе исследуется бизнес-процесс учета и анализа юридических лиц одного из субъектов Российской Федерации, а именно Брянской области в разрезе кодов ОКВЭД. Экземпляр этого бизнес-процесса был восстановлен по данным технологического журнала учетно-аналитической системы с использованием алгоритма IMDFb и первоначально был представлен в виде сетей Петри. После его преобразования в модель BPMN был проведен анализ данных о географических координатах, привязанных к действиям процесса. На основании этого был сформирован пространственно-временной слой его виртуального представления. По данному визуальному представлению исследуемый экземпляр бизнес-процесса полностью соответствует своему классу.

Предлагаемый подход к формированию пространственно-временной слоя экземпляра цифрового двойника бизнес-процесса является развитием методологии управления бизнес-процессами социально-экономических систем и позволяет значительно повысить качество принимаемых управленческих на основе мониторинга исполнения текущих процессов. Дальнейшие авторские исследования в этой области направлены на разработку таксономии технологий сбора данных по состоянию элементов бизнес-процесса с целью построения / актуализации его цифровой копии, на исследовании в области разработки методики трансфера мастер-данных с киберфизического уровня цифровых на уровень «моделей и алгоритмов» на основе реализации ETL/ELT-конвейера для повышения эффективности сбора данных по состоянию элементов реального бизнес-процесса, а также дальнейшего усовершенствования алгоритма Correlation miner технологии Process mining, позволяющего определить идентификатор экземпляра бизнес-процесса из набора сырых данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ayani, M., Ganebäck, M., & Ng, A.H.C. (2018). DigitalTwin: Applying emulation for machine reconditioning. *Procedia CIRP*. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.139>
2. Berti, A. (2019). Process mining on event graphs: A framework to extensively support projects. *CEUR Workshop Proceedings*.
3. Grieves, M.W. (2003). PLM — Beyond lean manufacturing. In *Manufacturing Engineering* (Vol. 130, Issue 3).
4. Grieves, M.W. (2005). Product lifecycle management: the new paradigm for enterprises. *International Journal of Product Development*. <https://doi.org/10.1504/ijpd.2005.006669>
5. Grieves, M.W. (2012). Virtually indistinguishable: Systems engineering and PLM. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 388 AICT, 226–242. https://doi.org/10.1007/978-3-642-35758-9_20
6. Shahriar, M.R., Sunny, S.M.N. Al, Liu, X., Leu, M. C., Hu, L., & Nguyen, N.T. (2018). MTComm based virtualization and integration of physical machine operations with digital-twins in cyber-physical manufacturing cloud. *Proceedings — 5th IEEE International Conference on Cyber Security and Cloud Computing and 4th IEEE International Conference on Edge Computing and Scalable Cloud, CSCloud/EdgeCom 2018*. <https://doi.org/10.1109/CSCloud/EdgeCom.2018.00018>

7. Tao, F., Qi, Q., Wang, L., & Nee, A.Y.C. (2019). Digital Twins and Cyber–Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.01.014>
8. Tao, F., Zhang, M., & Nee, A.Y.C. (2019). Background and Concept of Digital Twin. In Digital Twin Driven Smart Manufacturing (pp. 3–28). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817630-6.00001-1>
9. Yun, S., Park, J.H., & Kim, W.T. (2017). Data-centric middleware based digital twin platform for dependable cyber-physical systems. International Conference on Ubiquitous and Future Networks, ICUFN. <https://doi.org/10.1109/ICUFN.2017.7993933>
10. Zakoldaev, D.A., Gurjanov, A.V., Kochubey, D.R., & Zharinov, I.O. (2018). Application of imitation modelling means to create digital twins of the Industry 4.0 company technological equipment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/450/3/032006>
11. <https://programmist1s.ru>
12. <http://pm4py.pads.rwth-aachen.de>

© Казаков Олег Дмитриевич (it.kazakov@yandex.ru), Азаренко Наталья Юрьевна (salovanat@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Брянск