

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 519: 65.011.56

doi: 10.30987/2658-4026-2025-1-58-68

Цифровой двойник территориально-производственного комплекса полного цикла: шаблон проектирования при принятии решений

Екатерина Федоровна Шамаева^{1✉}, Дмитрий Борисович Берг², Дмитрий Александрович Беренов³, Мария Евгеньевна Доманова⁴

¹ Государственный университет управления; Москва, Россия

^{2,4} Уральский федеральный университет; Екатеринбург, Россия

³ ООО "ДАТА-ЦЕНТР Автоматика"; Екатеринбург, Россия

¹ ef_shamaeva@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1070-8550>

² bergd@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7703-9750>

³ berenov@dc.ru; <https://orcid.org/0009-0002-3732-5899>

⁴ domanova5@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5552-8051>

Аннотация.

В работе предложен концептуальный подход к созданию цифровых двойников территориально-производственных комплексов полного цикла для Сельского хозяйства 5.0. Полнота цикла заключается в замыкании (полном или частичном) потоков продуктов и услуг внутри самого комплекса – учитывается конечное потребление домохозяйств, которые обеспечивают производственную часть комплекса ресурсом рабочей силы. При этом отдельные производственные переделы, как правило, распределены по различным предприятиям внутри последнего. Решить проблему получения достаточного количества единообразно структурированных данных для управления комплексом в целом позволяет использование метода объектных отношений, который положен в основу платформы DATA-CI. Данная платформа не заменяет успешно работающие на предприятиях комплекса ИТ-системы (АСУ ТП, MES, ERP, BI), а интегрирует их, обеспечивая возможность управления в режиме реального времени согласно концепции Continuous Intelligence (CI). Пример реализации модели экономики полного цикла в сфере АПК на данной платформе приведен для четырех переделов продукции (включая домохозяйства). Показаны возможности визуализации состояния системы в режиме реального времени на мнемосхеме платформы и принцип сбора и хранения данных о всех событиях и процессах в системе, влияющих на производство конкретных единиц продукции (единиц учета).

Ключевые слова: сельское хозяйство 5.0, цифровой двойник, территориально-производственный комплекс, метод объектных отношений, Continuous Intelligence

Для цитирования: Шамаева Е.Ф., Берг Д.Б., Беренов Д.А. и др. Цифровой двойник территориально-производственного комплекса полного цикла: шаблон проектирования при принятии решений // Эргодизайн. 2025. №1 (27). С. 58-68. <http://dx.doi.org/10.30987/2658-4026-2025-1-58-68>.

Original article

Open access article

Digital Twin of a Full-Cycle Territorial Production Complex: Design Pattern for Decision Making

Ekaterina F. Shamaeva^{1✉}, Dmitry B. Berg², Dmitry A. Berenov³, Maria E. Domanova⁴

¹ State University of Management; Moscow, Russia

^{2,4} Ural Federal University; Yekaterinburg, Russia

³ DATA-CENTRE Automation, LLC; Yekaterinburg, Russia

¹ ef_shamaeva@guu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1070-8550>

² bergd@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7703-9750>

³ berenov@dc.ru; <https://orcid.org/0009-0002-3732-5899>

⁴ domanova5@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0001-5552-8051>

Abstract.

The paper proposes a conceptual approach to creating digital twins of full-cycle territorial production complexes for Agriculture 5.0. The cycle completeness lies in the closure (full or partial) of the product and service flows within the complex itself, considering the final consumption of households that provide the production part of the complex with a labour resource. At the same time, individual production stages are usually distributed among different enterprises within the latter. The problem of obtaining a sufficient amount of uniformly structured data to manage the complex as a whole can be solved by using the object relations method, which is the basis of the DATA-CI platform. This platform does not replace the IT systems (APCS, MES, ERP, BI) successfully operating at the enterprises of the complex, but integrates them, providing the ability to manage in real time according to the Continuous Intelligence (CI) concept. The paper gives an example of implementing a full-cycle economy model in the agro-industrial complex on this platform for four production stages (including households). The work shows the possibilities of visualizing the system state in real time on the platform mnemonic diagram and the principle of collecting and storing data on all events and processes in the system that affect the production of specific units (accounting units).

Keywords: probability, distribution function, binomial and normal distribution of parameters, grading scale, mathematical expectation, variance

For citation: Shamaeva E.F., Berg D.B., Berenov D.A., Domanova M.E. Digital Twin of a Full-Cycle Territorial Production Complex: Design Pattern for Decision Making. *Ergodizayn [Ergodesign]*. 2025;1(27):58-68. Doi: 10.30987/2658-4026-2025-1-58-68.

Введение.

С появлением сельскохозяйственных машин сельское хозяйство стало индустриальным производством и проходит те же этапы эволюции, что и промышленное производство. Понимание современных трендов, требований текущего и будущего этапов развития критически важны для обеспечения продовольственной безопасности страны. Появление тракторов на полях в начале XX века ознаменовало наступление индустриальной эры сельскохозяйственного производства. Это был этап Индустрии 1.0, когда мышечная сила человека и животных стала заменяться машинами. Индустрия 2.0 привнесла электричество, питавшее оборудование механизированных комплексов по производству молока, мяса, яиц и др. и открыла эпоху стандартизированной продукции. Полвека назад, в 1970-ые годы, произошла цифровая революция Индустрии 3.0, когда компьютеры взяли бразды правления в свои руки, вплетая автоматизацию в ткань производства. Считается, что в настоящее время мы находимся на этапе разворачивающейся Индустрии 4.0, суть которой заключается в автоматизации бизнес-процессов и внедрении искусственного интеллекта. Различные аспекты Индустрии 4.0 всесторонне обсуждаются во множестве литературных источников [1], [2], [3], [4], [5]. Одновременно, стали отчётливо видны черты следующего этапа - Индустрии 5.0.

Индустрия 5.0 характеризуется выходом за рамки производства товаров и услуг с целью получения прибыли. Индустрия 5.0 ставит благополучие и творческое развитие работника в центр производственного

процесса. А конечной целью производства становится обеспечение условий как для всестороннего развития каждого человека в отдельности, так и устойчивого развития общества в целом. Контуры Индустрии 5.0 приведены в работах [6], [7], [8]. Индустрия 5.0 в сфере АПК получила название Сельское хозяйство 5.0, однако важность изменения указанного выше целеполагания в сельском хозяйстве продолжает обсуждаться в экспертном сообществе [9].

Несколько упрощая ситуацию, можно сказать, что основное отличие концепций Сельского хозяйства 4.0 и 5.0 заключается в смене целеполагания: акцент с получения прибыли переносится на развитие работников (и домохозяйств) соответствующих территориально-производственных комплексов. При этом инструментальная база обеих концепций близка: это интеграция данных, облачных технологий и искусственного интеллекта для оптимизации производственных процессов. Ожидается, что к 2036 году объем данных на фермах возрастет в более чем восемь раз, что создаст новые возможности для анализа и принятия обоснованных решений. Такой рост объемов данных неминуемо приведет к ряду серьезным проблемам, с которыми уже столкнулись предприятия Индустрии 4.0.

Одной из них является разрозненность данных: специфические модели и форматы данных в системах определяют бизнес-процессом конкретного участка производства; они индивидуальны для каждой системы, и не годятся для обобщённого глобального анализа. Локальный анализ и принятие решений в контексте изолированных участков может приводить к ухудшению показателей эффективности как отдельного

сельскохозяйственного предприятия, так и территориально-производственного комплекса в целом.

Для решения обозначенных проблем многие крупные предприятия направили свои усилия на сбор данных со всех уровней автоматизации в так называемое «озеро данных», поскольку технологии BIG DATA позволяют осуществлять подобную агрегацию информации. Но проблема разрозненности данных не решается переносом данных на общий сервер. Формирование пёстрой коллекции таблиц и файлов, выгружаемых из источников в «озеро данных», стало причиной нового болезненного процесса, а именно, подготовки несовершенных, сырых данных для последующего выполнения над ними ответственной аналитики. Таким образом, «озера данных» не только не упростили организационную структуру, но, наоборот, привели в нее дополнительные IT-команды для подготовки данных для анализа. Работа этих команд требует дополнительного времени, а значит снижает оперативность анализ данных и принятия решений.

Эффективным подходом к устранению приведенных выше несовершенных сторон цифровизации может быть автоматизация как фиксации самой проблемы, так и изменение производственного поведения. Указанный подход к цифровизации с недавнего времени принято называть Continuous Intelligence (CI). По определению, приведенному в словаре информационных технологий [10], Continuous Intelligence — это шаблон проектирования, в котором аналитика в режиме реального времени интегрируется в бизнес-операции, обрабатывая текущие и исторические данные для предписания действий в ответ на бизнес-моменты и другие события.

Концепция Continuous Intelligence призвана объединить историческую аналитику предприятия и его актуальную аналитику в реальном времени для управления, мониторинга и настройки организационных и производственных подсистем всех типов. CI подразумевает непрерывный прием данных, их преобразование, анализ и выработку рекомендаций по принятию решений. В среде CI создаётся более широкая сеть информационных потоков, чем сеть потоков традиционного BI (Business Intelligence), поскольку Continuous Intelligence интегрирует контекстные данные для понимания факторов, влияющих на экономические показатели деятельности предприятия. Это сокращает время принятия управленческих мер за счет

прямой связи с операционными процессами, которые, в свою очередь, генерируют больше данных для анализа.

Обозначенная ранее в качестве препятствия проблема разнородности данных ставит барьер также и для широкого внедрения Continuous Intelligence. Исследователи современных организационных приемов производства, касаясь вопросов интеграции, аналитики и эксплуатации данных, напоминают, что неоднородность данных, действительно, является существенным препятствием для широкого применения CI [11], [12], [13]: информационные системы и операции сильно различаются в зависимости от отрасли и даже компании.

Настоящая работа посвящена разработке CI-концепции цифрового двойника территориально-производственного комплекса полного цикла сельского хозяйства 5.0.

1. Материалы и модели

1.1. Экономическая модель территориально-производственного комплекса полного цикла в сфере АПК

Для разработки концепта цифрового двойника территориально-производственного комплекса Сельского хозяйства 5.0 необходимо иметь его описание. Обязательное требование к описанию — одновременный охват как производства, так и конечного потребления внутри комплекса. Большинство описаний таких экономических систем представлено либо макроэкономическими моделями конкретных территорий, в которых производство и потребление агрегировано по системе в целом, а исходные данные берутся из открытых источников, в частности, базы данных Росстата, либо бизнес-моделями, описывающими производственно-коммерческую часть комплекса. Такие модели не могут быть использованы для построения требуемого концепта, поскольку в них отсутствует та или иная необходимая информация. В настоящее время реализация концепта по реальным данным оказывается технически невозможной, поскольку требует использования огромного количества единообразно структурированных данных. Источники этих данных в настоящее время не только распределены по разным организациям, но и не оцифрованы в достаточной степени.

За основу требуемой модели взято описание муниципальной экономической системы из работы [14]. Она составлена на основании усредненных статистических данных в расчете на 10 000 жителей. Распределение населения по возрастным группам составляет: 55% (5 500 чел.) – трудоспособный возраст (старше 18 лет), 27% (2 700 чел.) – выше трудоспособного возраста (пенсионный возраст), 18% (1 800 чел.) – ниже трудоспособного возраста (до 18 лет). Отраслевой состав данной экономической модели составили предприятия, связанные взаимными поставками продукции и услуг внутри территориально-производственного комплекса в сфере АПК; предприятия, не имеющие таких связей, из модели исключались. Растениеводство в модели представлено сельскохозяйственным производственным кооперативом; животноводство – фермой и птицефабрикой; пищевая промышленность – мясокомбинатом, молокозавод, мукомольным заводом, комбикормовым заводом, хлебозаводом; вспомогательное производство – производством мебели, автосервисом, автопредприятием (пассажирские и грузовые перевозки).

Домохозяйства (население) в модели выделены в отдельную «отрасль» (агента), которая потребляет продукцию местных предприятий и обеспечивает их важнейшим ресурсом – рабочей силой. Виды производств и объемы потребления их продукции и услуг местным населением были определены на основании анализа потребительской корзины. В качестве исходных данных для расчета товарных потоков между предприятиями производственно-территориального комплекса была использована годовая отчетность аналогичных предприятий соответствующих отраслей, в частности: объемы производства основного продукта, средний размер оплаты труда и среднесписочная численность сотрудников.

В данной модели экономики муниципалитета имеют место 28 основных внутренних связей между экономическими агентами, которые образуют различные замкнутые контуры (замыкают полные циклы). Основным замыкающим агентом являются домохозяйства, которые удовлетворяют свои потребности продукцией местного территориально-производственного комплекса на 32%, в свою очередь, на 100% обеспечивая его рабочей силой.

Для реализации концепта цифрового двойника территориально-производственного

комплекса его исходная модель была упрощена до одного полного цикла – цикла растениеводства. Для этого из 12 агентов модели были выделены 4, обеспечивающие основные его переделы: с/х кооператив, мукомольный завод, хлебокомбинат (пекарня) и домохозяйства (таблица 1) (порядковые номера агентов соответствуют модели в работе [14]).

Матрица агрегированных за год товарных потоков между данными агентами приведены в таблице 2. Эти потоки, выраженные в рублях, отражают движение товаров и услуг между соответствующими предприятиями и домохозяйствами по 6 основным (внутренним для комплекса) связям (ненулевые ячейки в таблице 2). Ненулевое сальдо показывает, что рассматриваемые агенты также имеют экономические связи (снабжение или сбыт) с агентами, не входящими в выделенный для анализа полный цикл территориально-производственного комплекса растениеводства.

1.2. Объектные отношения в экономической модели полного цикла

Проблема получения однородных данных, пригодных для использования СИ в управлении территориально-производственным комплексом, может быть решена путем использования метода объектных отношений (Object Relations Technique или ORT), впервые опубликованного в работе [15]. Это универсальный метод моделирования бизнес-процессов. В его основе лежит понятие «объекта», представляющего собой любую сущность в цепочке реализации отдельных этапов бизнес-процесса (в частности – завод, цех, агрегат, производственная операция, единица продукции и т.д.).

Сущность «объект» оказывается полномочной вступать в любые связи (отношения) с другими «объектами» в рамках рассматриваемой модели, что в свою очередь позволяет аккумулировать различного рода данные в единую иерархию и гарантирует достоверность анализа любого уровня. Метод объектных отношений предполагает такой подход к данным, который исключает разделение описания структур данных под отраслевую, физическую и иную предметную специфику, позволяя создавать глобальные данные как отдельного предприятия, так и всего комплекса, объединяя естественным образом данные разнородных производственных систем.

Тогда полный производственный цикл (в самом агрегированном виде) выглядит следующим образом: выращенное зерно собирается комбайном (передел А1) и доставляется на мукомольный завод, где из него получают муку и отправляют далее тарным (штучная единица учета – ЕУ) или бестарным (объемная единица учета) способом (передел А2), на хлебокомбинате выпекают хлебобулочные изделия (передел

А3) и только после этого продукция попадает в руки покупателей-домохозяйств, где и осуществляется ее конечное потребление работником с восстановлением понесенных им энергозатрат. В свою очередь, домохозяйства 12 обеспечивают рабочей силой перечисленные выше предприятия комплекса в соответствии с их потребностью, указанной в таблицах 1 и 2 (передел А4).

Таблица 1.

Отраслевой состав территориально-производственного комплекса полного цикла растениеводства

Table 1.

The sectoral composition of the territorial production complex of the full cycle of crop production

№ п/п	Отрасль	Предприятие (фирма)	Основной вид деятельности	Среднесписочная численность сотрудников, чел.
1	Растениеводство	Сельскохозяйственный производственный кооператив	Выращивание зерновых культур	170
6	Пищевая промышленность	Хлебокомбинат (пекарня)	Производство хлебобулочных изделий	290
7		Мукомольный завод	Мукомольное производство	185
12	Население (домохозяйства)		Трудовой ресурс	645
			Потребители продукции	10 000

Таблица 2.

Потоки товаров и услуг территориально-производственного комплекса полного цикла растениеводства (тыс. руб.)

Table 2.

Flows of goods and services of the territorial production complex of the full cycle of crop production (thousand rubles)

№	1	6	7	12	Дебет	Сальдо
1	-	0	496000	0	496000	482000
6	0	-	0	27514	27514	-24567
7	0	4081	-	0	4081	-507119
12	14000	48000	16000	-	78000	50486
Кредит	14000	52081	512000	27514	605595	

На основании известной пирамиды информационных систем управления предприятием формируется матрица уровней управления агрегатами/производствами экономической модели полного цикла с определением их параметров и единиц учета (таблица 3). В таблице 4 приведено описание производственного процесса полного цикла на языке метода объектных отношений.

2. Результаты

2.1. Цифровой двойник с объектными отношениями

Концепт цифрового двойника территориально-производственного комплекса выполнен на платформе DATA-CI, реализующей метод объектных отношений и представляющей собой универсальный *Low Code* конструктор для создания цифровых двойников как отдельных предприятий, так и их комплексов. Платформа состоит из трех основных модулей, соответствующих трем основным уровням информационной пирамиды управления производственными процессами [16]:

- модуль DATA-TRACK [17] обеспечивает автоматизированный сбор первичных данных, распределенных по всей цепочке производственных переделов полного цикла и, соответственно, по осуществляющим эти переделы предприятиям, в режиме реального времени;
- модуль EXPERT-BASE [18] обеспечивает упорядоченное хранение первичных данных и быстрый доступ к ним по запросам с любого уровня управления;
- модуля DATA-PLAN [19] обеспечивает поддержку принятия решений и направление их на исполнение в режиме реального времени, что замыкает контур управления территориально-производственным

комплексом полного цикла в сфере АПК на базе методологии CI.

Средствами модуля DATA-TRACK концепт цифрового двойника визуализируется на мнемосхеме. На рисунке 1 показан её фрагмент, соответствующий переделу А1 (растениеводство). Мнемосхема включает: условное взаимное расположение полей и маршрутов движения транспортных механизмов по полю и между ними (слева), таблицу состояния объектов (полей) с данными в реальном масштабе времени (справа вверх), видеоизображение с одной из камер системы технического зрения. Мнемосхема в реальном времени отражает движение материалов, агрегатов и механизмов, условия обработки единиц учета и другую информацию.

Таблица 3.

Матрица уровней управления в модели территориально-производственного комплекса полного цикла

Table 3.

The matrix of management levels in the model of a full-cycle territorial production complex

	Переделы полного цикла			
	A1	A2	A3	A4
Организационная система	с/х кооператив	мукомольный завод	хлебокомбинат	население территории (продовольственная безопасность)
Управление технологическими процессами	растениеводство (выращивание зерновых)	производство муки	производство х/б изделий	питание (энергетическое воспроизводство рабочей силы)
Управление отдельными агрегатами	комбайны, трактора, автотранспорт и др.	мельницы, упаковочные и сортировочные машины и др.	дозировочные и формовочные машины, тестомесы, печи и др.	участки приготовления блюд и составления меню (домохозяйства, предприятия общепита)
Единицы учета (ЕУ)	зерно (объемная)	мука (фасованная штучная, объемная)	х/б изделие	человек (работник)
Параметры	сорт, влажность, погодные условия произрастания, использованные удобрения, энергозатраты, себестоимость и др.	сортность, влажность, белковое содержание, зольность, цвет, энергозатраты, себестоимость и др.	пищевая ценность, запах, состав, кислотность, энергозатраты, себестоимость и др.	калорийность питания, витамины, микроэлементы, энергозатраты, себестоимость др.

Таблица 4.

Описание производственного процесса полного цикла на языке метода объектных отношений (ORT)

Table 4.

Description of the full-cycle production process in the language of the object relations method (ORT)

Определение	ORT в общем виде	ORT в полном производственном цикле	Комментарий
Совокупность управляемых объектов	$\mathcal{A} := \{A_1, A_2, \dots, A_d\}$	$\mathcal{A} := \{A_1, A_2, A_3, A_4\}$	A1, A2 A3, A4 – обозначения переделов из Таблицы 3
Технологический маршрут	$M_i := (A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_k})$	$M_i := (A_1, A_2, A_3, A_4)$	
Технологическая база	$EY := \{ey_1, ey_2, \dots, ey_h\}$	$EY := \{ey_1, ey_2, ey_3, ey_4\}$	ey – единица учета; 1,2,3,4 – номер передела из Таблицы 3
Упорядоченный набор параметров	$y_c := (y_1^{(c)}, y_2^{(c)}, \dots, y_{n_c}^{(c)})$	$y_c := (y_1^{(c)}, y_2^{(c)}, y_3^{(c)}, y_4^{(c)})$	$c \in [1, h]$; c – отдельный работник в составе населения территории [1, h]
Исполненный технологический маршрут	$y_{r(i_e)}(AI_j) = (y_{j,1}^{(r(i_e))}, y_{j,2}^{(r(i_e))}, \dots, y_{j,n_{r(i_e)}}^{(r(i_e))})$	Единственный технологический маршрут	

Модуль DATA-TRACK протоколирует для дальнейшего использования последовательность прохождения агрегатов и время обработки для каждой единицы продукции (единицы учета), параметры обработки, сигналы с датчиков, генеалогию производства. Генеалогия производства продукции, данные по каждой единице продукции и протокол движения по центрам обработки дают полную картину производства для управления и принятия решений. Генеалогия производства представляется в виде диаграммы классов для каждой единицы учета. Это означает, что для каждого хлебобулочного изделия (передел А3) будут известны не только условия его изготовления, но и данные об использованном сырье, в частности – о муке: где и как она хранилась, из какого зерна была смолота, на каком конкретно поле это зерно было выращено и в каких погодных условия, сколько и каких было затрачено удобрений и др. Пример отображения ряда параметров единиц учета для передела А1 (выращивание зерновых на этапе посева озимых сортов) представлен на рисунке 2.

Платформа DATA-CI не является одним из уровней в пирамиде автоматизации, а интегрируется со всеми уровнями для

принятия управленческих решений. На нижнем уровне платформа интегрируется с АСУ ТП (автоматизированная система управления технологическим процессом) и с помощью слежения за материалом создает ORT-модель производства. На уровне MES (manufacturing execution system – система управления производственными процессами) платформа выполняет на основе ORT-данных учетные функции и функции оптимального планирования. На уровне ERP (Enterprise Resource Planning – комплексная программа для автоматизации основных бизнес-процессов предприятия) платформа интегрируется с данными по заказам, персоналу, бухгалтерским учетом. На уровне BI платформа поддерживает принятие управленческих решений согласно методологии CI.

CI-управление в реальном масштабе времени осуществляется следующим образом. Для каждого экземпляра единицы продукции, покинувшего тот или иной агрегат на технологическом маршруте, в архиве сохранен весь набор значений параметров данного экземпляра. На основе этих данных каждому экземпляру единицы продукции присваивается определенная метка качества. На основании значения этой метки

принимается решение о сохранении или смене технологического маршрута для данной единицы продукции. В простейшем случае, такие метки обозначают принадлежность экземпляров к двум классам: годные или бракованные экземпляры единиц продукции (любое производство имеет точки контроля, на которых определяется качество продукции). Своевременное выявление брака позволяет исключить его из дальнейшей обработки, а при наличии другого технологического маршрута – направить единицу продукции на производство другого

изделия, например, менее требовательного к качеству. Присваивание того или иного значения метке качества осуществляется на основании решающего правила, сформированного ранее методами машинного обучения. Возможности и ограничения на смену технологического маршрута в случае отклонения значения метки качества от планового задаются с учетом потребностей в ассортименте и количестве конечной продукции.

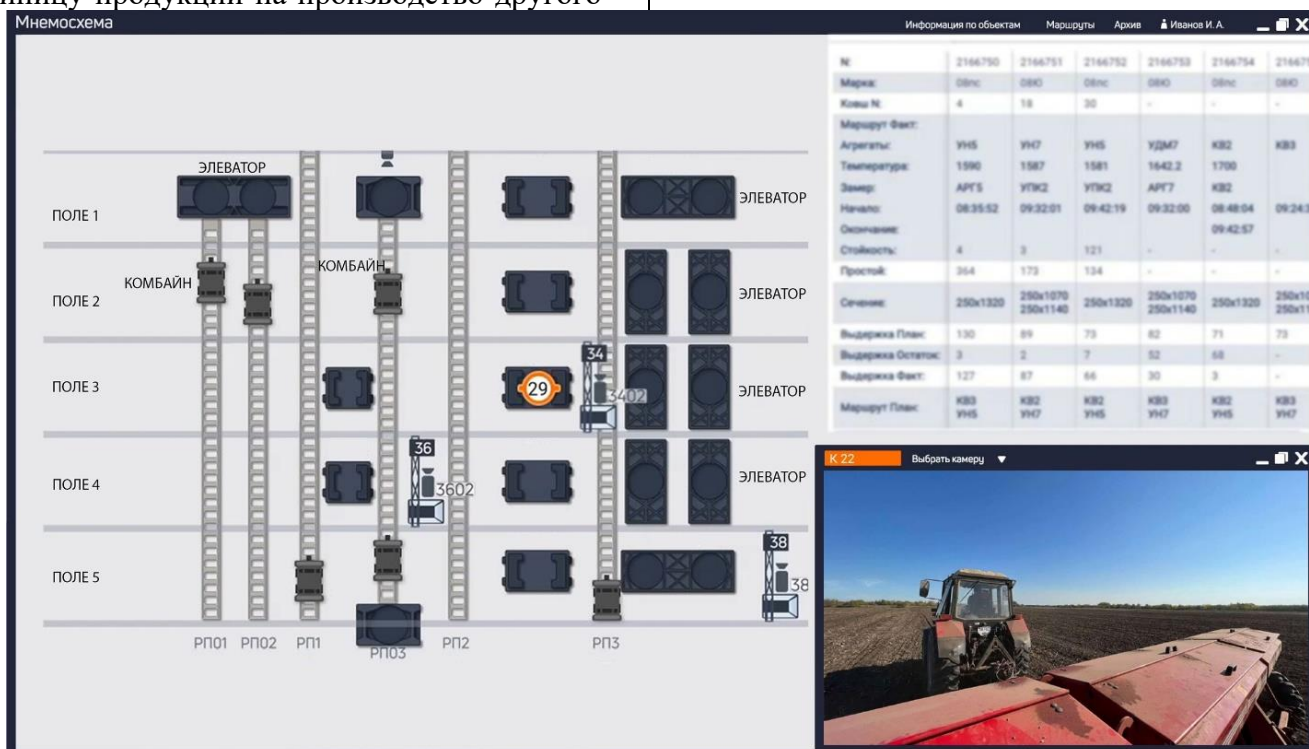


Рис. 1. Фрагмент мнемосхемы передела А1 модели полного цикла, модуль DATA-TRACK
Fig. 1. Fragment of the mnemonic diagram of the conversion A1 of the full-cycle model, DATA-TRACK module

	1 поле	2 поле	3 поле
Площадь поля, га	24	100	164
Номер партии	1345	2896	4675
Сорт зерна	Белла	Белла	Злата
Температура почвы, °C	4	5	8
Влажность, %	60-80%	60-75%	60-75%
Удобрения	азот	азот	комплекс (азот, фосфор, калий)
Дата посева	сентябрь	сентябрь	август

Рис. 2. Пример отображения ряда параметров единиц учета для передела А1 (выращивание зерновых на этапе посева озимых сортов) на мнемосхеме модуля DATA-TRACK рис.1 (справа сверху)

Fig. 2. An example of displaying a number of accounting unit parameters for conversion A1 (grain cultivation at the stage of sowing winter varieties) on the mnemonic of the DATA-TRACK module fig. 1 (upper right)

Обсуждение и заключение

Для создания цифрового двойника территориально-производственного комплекса полного цикла для сельского

хозяйства необходимо решить проблему неоднородности данных. В работе проблему неоднородности данных предлагается решить путем использования метода объектных

отношений, что обеспечивает условия для применения СИ. Данный метод не чувствителен к специфике бизнес и производственных процессов, позволяет интегрировать различные переделы продукции, реализуемые на базе различных организаций.

В качестве технического решения применяется платформа DATA-CI, которая не заменяет существующие системы (АСУ ТП, MES, ERP, BI), а интегрирует их, обеспечивая возможность управления территориально-производственным комплексом полного цикла в сфере АПК. Предлагаемое решение позволяет лицам, принимающим решения (в т.ч. – руководству местных органов государственной власти) отслеживать состояние всего комплекса и его отдельных частей в режиме реального времени. Принятие решений при наступлении (или ненаступлении) отдельных событий, относящиеся к исполнению бизнес-процессов комплекса, также осуществляется в реальном масштабе времени. Это позволяет, в частности, мгновенно реагировать на неблагоприятные природные явления (заморозок, засуха, повышенная влажность и др.) и тем самым снижать возможные потери.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kumar A., Kumar P., Singh H., Gulati V., Singh P.K. Handbook of Flexible and Smart Sheet Forming Techniques: Industry 4.0 Approaches. Wiley. 2023, 304 p. ISBN: 978-1-119-98644-7.
2. Ali I., Chatterjee P., Shaikh A.A., Gupta N., AIArjani A. Computational Modelling in Industry 4.0. A Sustainable Resource Management Perspective. Singapore: Springer. 2022, 374 p. DOI 10.1007/978-981-16-7723-6. ISBN 978-981-16-7723-6.
3. André J.-C. Industry 4.0: Paradoxes and Conflicts. Systems and Industrial Engineering Series. London: ISTE & Wiley. 2019. 368 p. ISBN 978-1-119-64466-8.
4. Ansari I.A., Bajaj V. Advanced Signal Processing for Industry 4.0: Evolution, Communication Protocols, and Applications in Manufacturing Systems. Bristol: IOP Publishing. 2023, 356 p. ISBN 9780750352482.
5. Avikal S., Singh A.R., Ram M. Sustainability in Industry 4.0: Challenges and Remedies. Mathematical Engineering, Manufacturing, and Management Sciences. Boca Raton FL: CRC Press. 2022, 257 p. DOI 10.1201/9781003102304. ISBN 9781003102304.
6. Abonyi J., Nagy L., Ruppert T. Ontology-Based Development of Industry 4.0 and 5.0. Solutions for Smart Manufacturing and Production: Knowledge Graph and Semantic Based Modeling and Optimization of Complex Systems. Springer Series in Advanced Manufacturing. Singapore: Springer. 2024. 277 p. DOI 10.1007/978-3-031-47444-6. ISBN 978-3-031-47443-9.
7. Awasthi S., Sanyal G., Travieso-Gonsales P.K., Srivastava P.K., Singh D.K., Kant R. Sustainable Computing: Transforming Industry 4.0 to Society 5.0. Singapore: Springer. 2023. 352 p. DOI 10.1007/978-3-031-13577-4. ISBN 978-3-031-13577-4.

Перспективы дальнейшего развития научных исследований в данном направлении связаны с наполнением СИ-составляющей цифрового двойника моделями, соответствующими объекту управления. В настоящее время отсутствуют комплексные математические модели функционирования территориально-производственных комплексов полного цикла и управления ими в контексте концепции Индустрия 5.0/Сельское хозяйство 5.0. Трудность их создания заключается в смене целеполагания при реализации данной концепции – приоритет финансовых показателей падает, вместо них наиболее важными становятся показатели развития работников и домохозяйств. Смена целеполагания ведет к изменению всей системы управления, поэтому существующие модели не могут быть адаптированы напрямую. С этой точки зрения актуальным является разработка методов и алгоритмов межотраслевого анализа, объединяющих динамику разнородных систем (природные, технические, социальные) с использованием физических закономерностей и соответствующих измеримых величин.

REFERENCES

1. Kumar A., Kumar P., Singh H., Gulati V., Singh P.K. Handbook of Flexible and Smart Sheet Forming Techniques: Industry 4.0 Approaches. Wiley; 2023. 304 p.
2. Ali I., Chatterjee P., Shaikh A.A., Gupta N., AIArjani A. Computational Modelling in Industry 4.0. A Sustainable Resource Management Perspective. Singapore: Springer; 2022. DOI 10.1007/978-981-16-7723-6.
3. André J.-C. Industry 4.0: Paradoxes and Conflicts. Systems and Industrial Engineering Series. London: ISTE & Wiley; 2019. 368 p.
4. Ansari I.A., Bajaj V. Advanced Signal Processing for Industry 4.0: Evolution, Communication Protocols, and Applications in Manufacturing Systems. Bristol: IOP Publishing; 2023. 356 p.
5. Avikal S., Singh A.R., Ram M. Sustainability in Industry 4.0: Challenges and Remedies. Mathematical Engineering, Manufacturing, and Management Sciences. Boca Raton, FL: CRC Press; 2022. DOI 10.1201/9781003102304.
6. Abonyi J., Nagy L., Ruppert T. Ontology-Based Development of Industry 4.0 and 5.0. Solutions for Smart Manufacturing and Production: Knowledge Graph and Semantic Based Modelling and Optimization of Complex Systems. Springer Series in Advanced Manufacturing. Singapore: Springer; 2024. DOI 10.1007/978-3-031-47444-6.
7. Awasthi S., Sanyal G., Travieso-Gonsales P.K., Srivastava P.K., Singh D.K., Kant R. Sustainable Computing: Transforming Industry 4.0 to Society 5.0. Singapore: Springer; 2023. DOI 10.1007/978-3-031-13577-4.

8. **De Felice F, Petrillo A.** Digital Effects, Strategies, and Industry 5.0. Boca Raton FL: CRC Press. 2024. 131 p. DOI 10.1201/b22968. ISBN 9781003301844.
9. **Позаченюк Е.А., Самбуу Г., Мурава-Середа А.В. и др.** Цифровизация земель сельскохозяйственного назначения в трансграничных регионах, как основа базиса становления цифрового сельского хозяйства 5.0 в Российской Федерации // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2023. Т. 9, № 4. С. 69-86. EDN ELOBBB.
10. **Gartner Continuous Intelligence.** Gartner Information Technology Glossary. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/continuous-intelligence> (дата обращения 25.12.2024).
11. **Crosby S.** Continuous Intelligence with Machine Learning, Digital Twin and Knowledge Graphs. Secrets of Data & Analytics Leaders. September 08. 2020. URL: <https://www.eckerson.com/articles/simon-crosby-continuous-intelligence-with-machine-learning-digital-twin-and-knowledge-graphs> (дата обращения 25.12.2024).
12. **Petrie K.** Five Steps to Succeed with Your Continuous Intelligence Strategy. Eckerson Group. - November 11, 2020. URL: <https://www.eckerson.com/articles/five-steps-to-succeed-with-your-continuous-intelligence-strategy> (дата обращения 25.12.2024).
13. **Petrie K.** The Art and Science of Architecting Continuous Intelligence. // Eckerson Group. October 14, 2020. URL: <https://www.eckerson.com/articles/the-art-and-science-of-architecting-continuous-intelligence> (дата обращения 25.12.2024).
14. **Попков В.В., Берг Д.Б., Ульянова Е.А. и др.** Моделирование как инструмент формирования товарной и финансовой сети в региональной экономике // Экономика региона. 2015. № 2(42). С. 236-246. DOI 10.17059/2015-2-19. EDN VHR TKZ.
15. **Рассказова В.А., Беренов Д.А.** Модель объектных отношений для интеллектуального управления на основе производственных данных // Моделирование и анализ данных. 2023. Том 13. № 1. С. 5–18. DOI 10.17759/mda.2023130101. EDN DWGZWB.
16. **Коротеев Т.И.** Анализ понятийного аппарата и выявление сильных и слабых мест современных подходов к оценке цифровизации // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 3. С. 413-418. DOI 10.24412/2071-6168-2024-3-413-414. EDN BYMCVR.
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014662444, Российская Федерация: заявлено 29.08.2014: опубликовано 01.12.2014, / **Гайнанов Д.Н., Беренов Д.А., Тихонович Д. П.** – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611453, Российская Федерация: заявлено 23.12.2010: опубликовано 14.02.2011 / **Гайнанов Д.Н., Беренов Д.А.** – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.
19. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021665276 Российская Федерация. Data-plan : № 2021664264 : заявл. 13.09.2021 : опублик. 22.09.2021 / **Д. Н. Гайнанов, Д. А. Беренов, В. А. Рассказова [и др.]** ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ДАТА-ЦЕНТР Автоматика». – EDN DQHRAX.
8. **De Felice F, Petrillo A.** Digital Effects, Strategies, and Industry 5.0. Boca Raton, FL: CRC Press; 2024. DOI 10.1201/b22968. ISBN 9781003301844.
9. **Pozachenyuk EA, Sambuu G, Murava-Sereda AV, et al.** Digitalization of Agricultural Lands in Cross-Border Regions as the Basis for the Formation of Digital Agriculture 5.0 in the Russian Federation. Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions. 2023;9(4):69-86.
10. **Gartner Continuous Intelligence.** Gartner Information Technology Glossary [Internet] [cited 2024 Dec 25]. Available from: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/continuous-intelligence>
11. **Crosby S.** Continuous Intelligence with Machine Learning, Digital Twin and Knowledge Graphs. Secrets of Data & Analytics Leaders [Internet]. 2020 Sep 08 [cited 2024 Dec 25]. Available from: <https://www.eckerson.com/articles/simon-crosby-continuous-intelligence-with-machine-learning-digital-twin-and-knowledge-graphs>.
12. **Petrie K.** Five Steps to Succeed With Your Continuous Intelligence Strategy. Eckerson Group [Internet]. 2020 Nov 11 [cited 2024 Dec 25]. Available from: <https://www.eckerson.com/articles/five-steps-to-succeed-with-your-continuous-intelligence-strategy>.
13. **Petrie K.** The Art and Science of Architecting Continuous Intelligence. Eckerson Group [Internet]. 2020 Oct 14 [cited 2024 Dec 25]. Available from: <https://www.eckerson.com/articles/the-art-and-science-of-architecting-continuous-intelligence>
14. **Popkov V.V., Berg D.B., Ulyanova E.A., et al.** Modelling as a Tool for Forming a Commodity and Financial Network in the Regional Economy. Economy of the Region. 2015;2(42):236-246. DOI 10.17059/2015-2-19.
15. **Rasskazova V.A., Berenov D.A.** Object Relation Technique for Modelling of Digital Production Solutions. Data Modeling and Analysis. 2023;13(1):5-18. DOI 10.17759/mda.2023130101.
16. **Koroteev T.I.** Analysis of the Conceptual Framework and Identification of Strengths and Weaknesses of Modern Approaches to the Assessment of Digitalization. News of the Tula State University. Technical Sciences. 2024;3:413-418. doi: 10.24412/2071-6168-2024-3-413-414.
17. **Gainanov D.N., Berenov D.A., Tikhonovich D.P.** Certificate of State Registration of Computer Program RF, no. 2014662444; 2014 Dec 1.
18. **Gainanov D.N., Berenov D.A.** Certificate of State Registration of Computer Program RF, no. 2011611453; 2011 Feb 14.
19. **Gainanov D.N., Berenov D.A., Rasskazova V.A., et al.** Certificate of State Registration of Computer Program RF, no. 2021665276. Data-plan no. 2021664264. Data-Centre Avtomatika LLC; 2021 Sep 22.

Информация об авторах:

Шамаева Екатерина Федоровна - кандидат технических наук, доцент Государственного университета управления, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 57196119253, Research- ID-Web of Science O-1031-2016, Author-ID-РИНЦ 554485

Берг Дмитрий Борисович - доктор физико-математических наук, профессор, профессор базовой кафедры аналитики больших данных и методов видеоанализа, Институт радиоэлектроники и информационных технологий, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Scopus-Author ID 56425103400, ID РИНЦ 107250,

Беренов Дмитрий Александрович – директор по инновациям ООО "ДАТА-ЦЕНТР Автоматика", Scopus-Author ID 55976658400, Web of Science ResearcherID AHE-7353-2022

Доманова Мария Евгеньевна – студентка 2 курса магистратуры института радиоэлектроники и информационных технологий-РТФ Уральского федерального университета.

Information about the authors:

Shamaeva Ekaterina Fedorovna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the State University of Management, the author's international identification numbers: Scopus-Author ID 57196119253, Research-ID-Web of Science: O-1031-2016, Author-ID-RSCI: 554485

Berg Dmitry Borisovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor at the Basic Department of Big Data Analytics and Video Analysis Methods of the Institute of Radioelectronics and Information Technology of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, the author's international identification numbers: Scopus-Author ID: 56425103400, Author-ID-RSCI: 107250.

Berenov Dmitry Aleksandrovich – Director of Innovations of Data-Center Automatics, Ltd, the author's international identification numbers: Scopus-Author ID: 55976658400, Web of Science ResearcherID: AHE-7353-2022

Domanova Maria Evgenievna - 2nd year student of the Master's degree program at the Institute of Radio Electronics and Information Technology at the Faculty of Radio Engineering of the Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.01.2025; одобрена после рецензирования 17.01.2025; принята к публикации 20.01.2025. Рецензент – Киричек А.В., доктор технических наук, профессор, проректор по перспективному развитию Брянского государственного технического университета, член редакционного совета журнала «Эргодизайн»

The paper was submitted for publication on the 10th of January, 2025; approved after the peer review on the 17th of January, 2025; accepted for publication on the 20th of January, 2025. Reviewer – Kirichek A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Advanced Development of Bryansk State Technical University, member of the editorial board of the journal "Ergodesign".