

ОТРАЖЕНИЕ ДОКУМЕНТОВ В ЦИФРОВОМ ДВОЙНИКЕ ПРЕДПРИЯТИЯ И РАСЧЕТ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ПОВЕДЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Получено 21.06.2021 Доработано после рецензирования 23.07.2021 Принято 29.07.2021

УДК 65.011.56; 658.5.011 JEL B50, M10 DOI <https://doi.org/10.26425/2658-3445-2021-4-3-50-60>

Самосудов Михаил Владимирович

Д-р экон. наук, руководитель экспертно-методического отдела группы компаний «Деликатный переезд», г. Москва, Российская Федерация
ORCID: 0000-0001-5787-2430
e-mail: samosudov@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Формирование и становление концепции Индустрии 4.0 стимулировало обсуждение вопросов использования компьютерной техники в различных сферах хозяйственной деятельности и, в частности, в автоматизации управления социальными системами. Основой концепции является включение в производственную систему и систему управления виртуального образа социальной системы в форме математической модели или цифрового двойника предприятия. Вместе с тем следует отметить, что сегодня цифровые двойники создаются в основном для технических объектов, используемых в деятельности предприятий.

Целью статьи является демонстрация возможности фиксации организационных документов как одного из системообразующих факторов в цифровом двойнике предприятия. Это позволяет, во-первых, точнее рассчитывать управляющие воздействия руководителей за счет учета влияния организационных документов на деятельность работников предприятия; во-вторых, выявлять конфликты документов, разрабатываемых различными подразделениями компании; в-третьих, рассчитывать содержание документов в процессе их разработки (проектирования), исходя из требований ситуации или заданного управляющего эффекта.

Такая возможность возникает вследствие использования комплексной математической модели социальной системы, функционирующей в активной среде. Модель является имитационной агентно-ориентированной моделью и позволяет рассчитывать динамику социальной системы в социально-экономическом пространстве, что позволяет использовать ее в системах поддержки принятия решений руководителями предприятий любого масштаба и направлений деятельности для расчета ожидаемого эффекта от управленческих решений. Специфика конкретной социальной системы учитывается за счет сочетания значений фазовых переменных, описывающих состояние предприятия.

Новизна статьи заключается в том, что в ней показаны: возможность рассчитывать влияние организационных документов на поведение участников и, как следствие, на результат функционирования социальной системы, а также механизм преобразования сообщений, являющихся инвариантами социально-экономического пространства, в информацию, влияющую на поведение участников отношений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Цифровой двойник предприятия, социальная система, имитационная модель, математическая модель, комплексная модель, агентно-ориентированная модель, социально-экономическое пространство, ресурсно-функциональный подход, управление предприятием, управление социальной системой, вектор поведения, институциональная среда, организационный документ

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Самосудов М.В. (2021) Отражение документов в цифровом двойнике предприятия и расчет их влияния на поведение человека в имитационной модели//E-management. Т. 4, № 3. С. 50–60.



REFLECTION OF DOCUMENTS IN THE DIGITAL TWIN OF THE COMPANY AND CALCULATION OF THEIR IMPACT ON HUMAN BEHAVIOR IN THE SIMULATION MODEL

Received 21.06.2021

Revised 23.07.2021

Accepted 29.07.2021

JEL B50, M10

Mikhail V. Samosudov

Dr. Sci. (Econ.), Head of expert-methodical Department group of companies "Delicate moving", Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-5787-2430

e-mail: samosudov@mail.ru

ABSTRACT

The formation and formation of the Industry 4.0 concept stimulated the discussion of the use of computer technology in various areas of economic activity and, in particular, in the automation of social systems management. The basis of the concept is the inclusion of a virtual image of the social system in the form of a mathematical model or a digital twin of the enterprise in the production and management system. At the same time, it should be noted that today digital twin are created mainly only for technical objects used in the activities of enterprises.

The purpose of the article is to demonstrate the possibility of fixing organizational documents as one of the system-forming factors in the digital twin of an enterprise. This circumstance makes it possible, firstly, to more accurately calculate the managerial effects of managers by taking into account the impact of organizational documents on the activities of employees of the enterprise; secondly, to identify conflicts of documents developed by various departments of the company; thirdly, to calculate the content of documents during their development (design), based on the requirements of the situation or a given control effect.

This possibility arises due to the use of a comprehensive mathematical model of the social system operating in an active environment. The model is a simulation agent-based model and allows you to calculate the dynamics of the social system in the socio-economic space, which allows its use in decision support systems by managers of any scale and activities to calculate the expected effect of management decisions – the specifics of a particular social system are taken into account by combining the values of the phase variables describing the state of the enterprise.

The novelty of the research paper lies in the fact that it shows: the possibility to calculate the influence of organizational documents on the behavior of participants and, consequently, on the result of the social system, as well as the mechanism for converting messages, which are invariants of socio-economic space into information that affects the behavior of participants of relations.

KEYWORDS

Digital twin of an enterprise, social system, simulation model, mathematical model, comprehensive model, agent-oriented model, socio-economic space, resource-functional approach, company management, social system management, behavior vector, institutional environment, organizational document

FOR CITATION

Samosudov M.V. (2021) Reflection of documents in the digital twin of the company and calculation of their impact on human behavior in the simulation model. *E-management*, vol. 4, no. 3, pp. 50–60. DOI: 10.26425/2658-3445-2021-4-3-50-60



ВВЕДЕНИЕ

Формирование и становление концепции Индустрии 4.0 стимулировало обсуждение вопросов использования компьютерной техники в различных сферах хозяйственной деятельности и, в частности, в автоматизации управления социальными системами. Основой концепции является включение в производственную систему и систему управления виртуального образа социальной системы в форме математической модели или цифрового двойника предприятия [Lee at al., 2015; Sowe at al., 2016; Jiang at al., 2018; Андиева, Михайлов, 2018]. Вместе с тем следует отметить, что сегодня цифровые двойники создаются в основном для технических объектов, используемых в деятельности предприятий.

Цифровым двойником часто называют компьютерную модель, имитирующую поведение некоторого реального объекта – имитационную модель [Grieves, 2014; Boschert and Rosen, 2016; Söderberg at al., 2017; Uhlemann and Steinhilper, 2017; Uhlemann at al., 2017]. Однако представляется целесообразным различать механизм расчета динамики системы – имитационную модель, имитирующую поведение объекта, и собственно цифровой двойник – оцифрованный образ объекта, базу данных, содержащую информацию о значениях фазовых переменных в определенные моменты времени. Они, безусловно, связаны, но не являются синонимами. Для разных систем одного вида модель будет одна и та же, а совокупность значений параметров – различные. Например, модель зубчатой передачи и два различных механизма, в которых используются разные зубчатые колеса (с разным числом зубьев, разного диаметра, из разного материала). Модель будет одна, параметры механизмов будут различаться. Это позволит смоделировать работу механизмов и определить, какой из них более соответствует задаче. Вместе с тем следует признать, что во многих ситуациях вполне допустимо отождествлять модель и цифровой двойник для упрощения рассуждений, но следует быть готовым в любой момент углубиться в детали и «разъединить» эти связанные элементы для анализа.

Любой объект описывается набором фазовых переменных или параметров, а его эволюция или движение описывается фазовой траекторией – линией в фазовом пространстве, каждая точка которой отражает значение фазовых переменных объекта в определенный момент времени, то есть мгновенное состояние объекта. Для описания технических объектов используются физические, химические и тому подобные переменные: длина, высота, ширина, толщина, заряд, электропроводность, химический состав и др. Причем для отдельных деталей, узлов, оборудования и процессов, многие имитационные модели, входящие в состав «цифровых двойников», являются весьма детальными, построенными на низком уровне абстракции [Söderberg at al., 2017].

Для описания состояния социальных систем используются фазовые переменные социальной системы: количество и состав участников; их поведение, формализуемое вектором поведения; количество ресурсов, имеющихся у участников и переданных ими социальной системе (ресурсная база); количество и параметры социальных институтов [Самосудов, 2016; Samosudov, 2019]; а также параметры активности участников. *(Термины «фазовая переменная» и «параметр» здесь рассматриваются как синонимы. Параметр (фазовая переменная) – переменная величина, связанная известной зависимостью с состоянием процесса или системы. Зависимости определяются используемой теоретической базой (в частности, определяемыми теорией закономерностями) и соответствующей моделью. – Прим. авт.).* Таким же набором параметров описывается и состояние среды – социально-экономического пространства (далее – СЭП), в котором движется социальная система в процессе эволюции. Это позволяет рассчитывать динамику социальной системы в СЭП и определять оптимальную траекторию движения, обеспечивающую достижение целевого состояния. Использование ресурсно-функционального подхода к анализу социальных систем, уточнение природы, формализация и введение в модель активности человека и социальных систем позволили сформировать зависимости, связывающие фазовые переменные социальной системы и социально-экономического пространства (среды, в которой она функционирует), с результатами деятельности – входящим ресурсным потоком, включающим входящий денежный поток. Разработанные методики описания и фиксации значений фазовых переменных позволяют оцифровывать значения фазовых переменных системы и среды, что позволяет говорить о возможности создания компьютерной программы, фиксирующей состояние системы и его изменение в процессе деятельности, – цифрового двойника предприятия. А формализация зависимостей, связывающих фазовые переменные с результатом функционирования, позволяет создать программу для расчета влияния изменений значений параметров на свойства системы – компьютерную агентно-ориентированную имитационную модель. Это позволяет рассчитывать функциональную (системную) устойчивость компании, уровень

риска деятельности, рассчитывать и оптимизировать необходимую траекторию развития и отклонения фактической траектории от расчетной.

На сегодняшний день сформирована необходимая теоретическая база, а также комплексная агентно-ориентированная имитационная математическая модель социальной системы, функционирующей в активной среде, позволяющая рассчитывать динамику произвольной социальной системы при наличии необходимого набора данных – цифрового двойника системы. Созданный математический аппарат вполне позволяет создавать на его основе вычислительные алгоритмы, что позволяет реализовать компьютерную имитационную модель. Такая модель может использоваться в системе управления в качестве «активного советчика», что позволяет сравнить эффект от решения субъекта управления и решения, предложенного компьютером [Бурков и др., 2001; Бурков и Буркова, 2018]. Тем самым появляется возможность существенно повысить точность управления социальными системами и реализовать концепцию точного управления в компаниях. В работах М.В. Самосудова описываются основные компоненты комплексной математической модели социальной системы, функционирующей в активной среде [Самосудов, 2016; Samosudov, 2019].

Вместе с тем реализация вычислительных алгоритмов для целей создания цифрового двойника предприятия требует формализации воздействия всех влияющих факторов, включая институциональную среду в целом и отдельные социальные институты как один из основных факторов, влияющих на поведение человека. Учет воздействия институциональной среды позволяет точнее прогнозировать реакцию системы на управляющие воздействия активных участников. Некоторую сложность также представляет задача учета влияния сообщений, передаваемых по каналам передачи в СЭП, вследствие зависимости информации от точки СЭП – инвариантом является именно сообщение как совокупность сигналов, состоящих из первичных элементов информации (символы, звук, цвет и другие элементы, с помощью которых кодируется смысл отправителем при передаче).

Цель статьи – демонстрация возможности фиксировать организационные документы как одного из системообразующих факторов в цифровом двойнике предприятия и рассчитывать их влияние на поведение участников. Это позволяет, во-первых, точнее рассчитывать управляющие воздействия руководителей за счет учета влияния организационных документов на деятельность работников предприятия; во-вторых, выявлять конфликты документов, разрабатываемых различными подразделениями компании; в-третьих, рассчитывать содержание документов в процессе их разработки (проектирования), исходя из требований ситуации или заданного управляющего эффекта.

МЕТОД

Для решения задач моделирования динамики социальных систем в социально-экономическом пространстве наиболее подходит метод математического моделирования, в частности имитационного моделирования. Наиболее подходящие модели для социальных систем – агентно-ориентированные [Багрин, 2016; Каталевский, 2013; Epstein, 2007; Macal & North, 2005]. Примечательно, что развитие агентно-ориентированных моделей в экономике Правительством Российской Федерации отнесено к приоритетным направлениям развития фундаментальной науки на период до 2030 г.¹.

Для моделирования ситуации используется комплексная математическая модель социальной системы, функционирующей в активной среде [Samosudov, 2019]. Она состоит из нескольких частных моделей: «человек корпоративный», «взаимодействие субъектов», «возникновение входящего ресурсного потока» и «эволюция системы». Это имитационная агентно-ориентированная модель, отражающая динамику социальной системы в СЭП. Здесь мы будем в основном рассматривать компанию или фирму как частный случай социальной системы, целевой функцией которой является генерация входящего денежного потока – одной из составляющих входящего ресурсного потока. Однако, при необходимости, приведенные рассуждения можно распространить на любую социальную систему, включая некоммерческие, государственные и общественные организации.

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 года №3684-р «О Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021-2030 годы)». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573319222?marker=64U0IK> (дата обращения: 12.06.2021).

Сформированная теоретическая база² и модель на ее основе позволяют рассматривать любые явления в любых социальных системах, вне зависимости от форм, направлений деятельности и масштабов: компании, государственные и общественные организации, неформальные социальные объединения и др. [Samosudov, 2019]. Специфика устройства и деятельности конкретной социальной системы определяется сочетанием значений фазовых переменных (параметров системы).

Для анализа социальных систем используется ресурсно-функциональный подход³, предполагающий рассмотрение социальной системы как функциональной системы, предназначенной для реализации определенной функции и требующей определенной ресурсной базы. Ресурсы рассматриваются в широком смысле – не только финансовые и иные материальные ресурсы, но и все виды нематериальных ресурсов (организационные, интеллектуальные, социальные, информационные и др.). Такие ресурсы, как правило, не учитываются в системах учета организаций, но информация об их наличии и количестве имеет большое значение для расчета деятельности и динамики социальных систем.

Используемые методические подходы позволяют осуществить количественную оценку всех видов ресурсов, а также расчет необходимого количества ресурсов для деятельности в целом и совершения отдельных действий, в частности. Источник ресурсов – участники системы, передающие ресурсы посредством совершения действий вследствие неудовлетворенности своей ситуацией и возникновения импульса активности из-за несовпадения ожидаемых и желаемых выгод [Самосудов, 2016; Samosudov, 2019]. Вероятность совершения человеком действия формализуется вектором поведения. Основой для концепции вектора поведения стали работы в области нейрофизиологии, в основном, школы Ухтомского-Симонова [Симонов, 1988; Симонов, 1997], но учтены и работы в области социологии, психологии, этологии человека, биологической кибернетики и др. [Самосудов, 2016].

Существенными особенностями модели являются учет активности агентов и среды функционирования системы СЭП как совокупности агентов, а также разделение сущностей модели на инвариантные, условно-инвариантные (независимые от точки СЭП в рамках конкретной задачи) и зависимые от точки СЭП (от параметров субъективного подпространства). Инвариантными сущностями являются передаваемые сообщения и ресурсы; условно-инвариантными – искусственные каналы передачи, создаваемые агентами и принадлежащие им; а ценность ресурсов и получаемая из сообщений информация – это сущности, возникающие в субъективном подпространстве и зависящие от точки СЭП.

Зависимость передаваемой и получаемой агентами информации от точки СЭП представляет существенную сложность при моделировании. Рассмотренные в статье подходы позволяют это сделать, что позволяет внедрить расчетный подход в процесс принятия управленческих и маркетинговых решений.

Как показано в работах [Самосудов, 2016; Samosudov, 2019], эволюция социальной системы в СЭП описывается марковским процессом. То есть ее будущее состояние зависит от текущего состояния и не зависит от прошлого. Это объясняется просто – для будущего результата имеют значение накопленная компанией ресурсная база; а также сложившиеся на этот момент активность и векторы поведения агентов в каждой точке СЭП (возникает вследствие дивергенции векторов поведения под воздействием информационных потоков, часть из которых – информационные потоки компании).

Если накопленная ресурсная база позволяет совершить действия, приводящие к достаточной дивергенции векторов поведения участников СЭП, чтобы возникли соответствующие ресурсные потоки в компанию, то возникают исходящие из этих точек СЭП и направленные в сторону компании ресурсные потоки, складывающиеся в ВРП.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результат функционирования социальной системы (как правило, это входящий из СЭП ресурсный поток) определяется действиями участников системы, вследствие которых формируется активность системы в СЭП, а также состоянием СЭП.

² Самосудов М.В. (2021). Методологическая база управления // Самосудов Михаил Владимирович – персональный сайт [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.samosudov.ru/methodological-base (дата обращения: 12.06.2021).

³ Там же.

Поведение – характеристика человека, показывающая вероятность совершения им определенных обусловленных действий. Для учета в модели поведения человека используется вектор поведения – величина, представляющая собой матрицу размерностью $1 \times k$, элементы которой определяют вероятность совершения k -го действия:

$$B(O) = (p(o_1), p(o_2), \dots, p(o_k)), o_k \in O. \quad (1)$$

В «Теории корпоративного взаимодействия и устойчивости корпоративных систем» [Самосудов, 2016] на основании анализа информации о поведении человека показано, что вероятность совершения действия равна вероятности выбора действия, исходя из оценки значимости стимулов и ограничений, связанных с совершением действия. Стимулы – это получаемые вследствие совершения действия ресурсы; а ограничения – ресурсы, теряемые при совершении действия. Причем, принципиально важно учесть дуализм действия – человек не только решает, какое действие совершить, но и выбирает между «делать» и «не делать». И для «не действия» есть стимулы и ограничения, не связанные со стимулами и ограничениями для действия. Для прикладных задач значение компонента вектора поведения можно рассчитать по упрощенной формуле:

$$p(o_k) = \frac{S(o_k) + L(\neg o_k)}{S(\neg o_k) + L(o_k)} - 1, \quad (2)$$

где $p(o_k)$ – вероятность совершения человеком действия o_k ; $S(o_k)$, $S(\neg o_k)$ – совокупный стимул для действия и не действия o_k ; $\neg o_k$, $L(o_k)$, $L(\neg o_k)$ – совокупное ограничение для действия o_k и не действия $\neg o_k$.

Значения совокупных стимулов и ограничений рассчитываются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} S(o_k) &= \sum_m s_m(o_k); & L(o_k) &= \sum_n l_n(o_k); \\ s_m(o_k) &= \left(\frac{r_{m \text{ ум. } j} + r_{m \text{ пол. } j} p(r_{m \text{ пол. } j}, o_k)}{r_{m \text{ необх. } j}} \right)^{\gamma_j}; & l_n(o_k) &= \left(\frac{r_{n \text{ необх. } j}}{r_{n \text{ ум. } j} - r_{n \text{ тер. } j} p(r_{n \text{ тер. } j}, o_k)} \right)^{\gamma_j}; \\ p(r_{m \text{ пол. } j}, o_k) &= \frac{v_{\text{пол. } j}}{v_{\text{пол. } j} + v_{\text{не пол. } j}}; & p(r_{n \text{ тер. } j}, o_k) &= \frac{v_{\text{тер. } j}}{v_{\text{тер. } j} + v_{\text{не тер. } j}}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $s_m(o_k)$, $l_n(o_k)$ – стимул-мотив и ограничение-мотив для действия o_k ; $p(r_{m \text{ пол. } j}, o_k)$, $p(r_{n \text{ тер. } j}, o_k)$ – вероятность получения и потери ресурсов вследствие совершения действия; $v_{\text{пол. } j}$, $v_{\text{тер. } j}$, $v_{\text{не пол. } j}$, $v_{\text{не тер. } j}$ – количество известных человеку случаев получения, потери, не получения и не потери ресурсов вследствие совершения действия o_k ; γ_j – коэффициент нелинейности, зависящий от индивидуальных характеристик человека [Самосудов, 2016; Samosudov, 2021a]. (Здесь показан расчет совокупных стимулов и ограничений, стимулов-мотивов и ограничений-мотивов для действия. Для «не действия» значения рассчитываются аналогично. – Прим. авт.).

На вероятность совершения действий влияют информационные потоки, в том числе получаемые человеком от экономических агентов в виде рекламы, а также информация о поведении, получаемая из институциональной среды, включая корпоративную культуру, и автоинформация, формируемая самим человеком на основе его модели мира для устранения возникающей в ходе взаимодействия неопределенности.

Как показано ранее [Samosudov, 2021b], институциональная среда социальной системы Ω , влияющая на поведение участников, может быть зафиксирована посредством институциональной матрицы – матрицей размерностью $k \times [2(n+m)+1]$:

$$H_{\Omega} = \begin{pmatrix} o_1 & s_1^1 & \dots & s_n^1 & p(s_1^1) & \dots & p(s_n^1) & l_1^1 & \dots & l_m^1 & p(l_1^1) & \dots & p(l_m^1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ o_k & s_1^k & \dots & s_n^k & p(s_1^k) & \dots & p(s_n^k) & l_1^k & \dots & l_m^k & p(l_1^k) & \dots & p(l_m^k) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где k – число обусловленных действий, определяемых институциональной средой; n и m – число видов стимулов и ограничений, позиционируемых институциональной средой; $s_n^k, l_m^k, p(s_n^k), p(l_m^k)$ – соответственно стимулы, ограничения, а также вероятности реализации этих стимулов и ограничений для действия o_k .

С точки зрения взаимодействия субъектов, каждый институт можно охарактеризовать следующими параметрами: транслируемый вектор поведения, мощность и дисперсия института, вероятность реализации института в социальной системе (институциональной среде). Кроме того, может быть определена сила воздействия института в социальной системе [Samosudov, 2021b].

Под воздействием институциональной среды меняется поведение человека. Но для расчета этого воздействия нужно понять механизм – человек попадает в социальную систему, наблюдает действия других участников, читает документы, что приводит к формированию у него информации о действующих в этой системе правилах, допустимых и недопустимых действиях [Самосудов, 2016].

Организационные документы, используемые для регламентации деятельности участников социальной системы, – это один из элементов институциональной среды. Каждый документ позиционирует какие-то обусловленные действия (как правило, это необходимые и недопустимые, с точки зрения функционирования системы, действия), а также стимулы и ограничения. Пожалуй, наиболее распространенными проблемами регламентации деятельности с помощью документов являются следующие:

- несоответствие, противоречие документов друг другу (внутренних и внешних);
- несоответствие или противоречие документов институтам, формирующим корпоративную культуру компании или культуру региона присутствия;
- несоответствие или противоречие документов алгоритму функционирования системы.

Формализация всех элементов институциональной среды позволяет выявлять эти несоответствия, определить необходимые изменения. При проектировании документа формализация позволит определить потенциальный риск, связанный с внедрением этого документа в деятельность компании. В общем-то, существующая сегодня модель позволяет оценить влияние документа на будущий входящий ресурсный поток компании и таким образом определить предполагаемый эффект от внедрения документа, что может быть использовано для обоснования принимаемых решений.

При внедрении документов происходит ознакомление участников с содержанием документов – они получают сообщение (текст документа), интерпретируют его в информацию. Это приводит к изменению их представлений о существующих в системе стимулах, ограничениях и вероятности наступления последствий, связанных с совершением определенных обусловленных действий. Вследствие этого возникает дивергенция вектора поведения участника, что приводит к изменению его вектора поведения:

$$divB_j^k(O_j, I_{пол. j}(t)) = \left(\frac{\partial B_j(o_k)}{\partial s_1(o_k)} + \dots + \frac{\partial B_j(o_k)}{\partial s_m(o_k)} + \frac{\partial B_j(o_k)}{\partial l_1(o_k)} + \dots + \frac{\partial B_j(o_k)}{\partial l_n(o_k)} + \frac{\partial B_j(o_k)}{\partial s_1(-o_k)} + \dots + \frac{\partial B_j(o_k)}{\partial s_m(-o_k)} + \frac{\partial B_j(o_k)}{\partial l_1(-o_k)} + \dots + \frac{\partial B_j(o_k)}{\partial l_n(-o_k)} \right), o_k \in O_j. \quad (5)$$

Соответственно, мгновенное изменение вектора поведения $\Delta B_j(O_j, I_{пол. j}(t))$ в момент t под воздействием информации $I_{пол. j}(t)$ – матрица размерностью $1 \times k$, каждый элемент которой представляет собой дивергенцию в j -й точке скалярной плоскости пространства, соответствующей действию o_k :

$$\Delta B_j(O_j, I_{пол. j}(t)) = (divB_j^1(O_j), divB_j^2(O_j), \dots, divB_j^k(O_j)). \quad (6)$$

А вектор поведения человека в любой момент времени определяется следующим образом:

$$B_j(O_j, t) = B_j(O_j, t_0) + \left(\int_{t_0}^t divB_j^1(O_j, I_{пол. j}(t)) dt, \int_{t_0}^t divB_j^2(O_j, I_{пол. j}(t)) dt, \dots, \int_{t_0}^t divB_j^k(O_j, I_{пол. j}(t)) dt \right). \quad (7)$$

Для кодирования своих сообщений и интерпретации сообщений, получаемых из различных источников, человек использует алфавит. Алфавит j -го агента M_j – матрица, определяющая используемые сигналы. В свою очередь, сигналы – набор первичных элементов информации (символы, изображение, звук, цвет и т.п.), используемые для кодирования смысла при передаче сообщений. Каждый сигнал μ_n в соответствии с представлением j -го агента, определяет информацию, способствующую тому, что k -й участник, получив сообщение, передаст определенные ресурсы в обмен на полученные от j -го агента ресурсы:

$$M_j = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}, \mu_n : \mu_n \rightarrow \{\tilde{R}_j^k, \hat{R}_j^k\}. \quad (8)$$

Здесь $\tilde{R}_j^k, \hat{R}_j^k$ – потоки ресурсов, входящий в j -ю точку СЭП от k -го агента, и исходящий из j -й точки СЭП в сторону k -го агента.

С точки зрения взаимодействия агентов в СЭП, смысл любого сообщения – совокупность стимулов и ограничений для совершения определенных действий или, по-другому, транслируемый вектор поведения. Сообщение – набор сигналов, с помощью которых человек кодирует передаваемую информацию в соответствии с используемым им алфавитом.

Поток сообщений \hat{M}_j^k , передаваемый j -м агентом k -му агенту, формируется на основе его представлений о восприятии сигналов k -м агентом и желаемых им ресурсов: $\hat{M}_j^k(t) = M_j \times \tilde{B}_j(t)$, а значения элементов матрицы выбора сигналов $\tilde{B}_j(t)$ зависят от необходимых j -му субъекту ресурсов и его представлении о векторе поведения получателя сообщения в базисе интерпретации сигналов: $\tilde{B}_j(t) = \varphi(B_j(O), R_{j \text{ необх.}}(t))$. В упрощенном варианте элементы матрицы $\tilde{B}_j(t)$ – бинарные (1 или 0), то есть выбор или не выбор определенного сигнала из алфавита для формирования сообщения.

Для учета влияния неформальных институтов (например, корпоративной культуры) необходимо учитывать физическое перемещение человека и других экономических агентов для вычисления воздействия их поведения на поведение рассматриваемого агента, а также информацию, получаемую этим участником из других источников. Для современного уровня развития вычислительной техники это не представляется принципиально невыполнимой задачей – вопрос лишь в создании соответствующих инструментов. Вместе с тем это требует еще и справочной информации – информации о поведении определенных групп участников, алфавите этих участников, содержании сообщений, распространяемых по каналам передачи в СЭП. Но для прикладных задач вполне можно воспользоваться упрощенным расчетом транслируемого неформальной частью институциональной среды вектора поведения:

$$B_{mp.H_\Omega}(O_\Omega) = \frac{\sum_{Q_\Omega} B_j(O_\Omega)}{Q_\Omega}, \quad (9)$$

где Q_Ω – множество участников социальной системы Ω , O_Ω – множество обусловленных действий системы.

ВЫВОДЫ

Из приведенных рассуждений видно, что сегодня имеется возможность формализации содержания документов и фиксации этого содержания в цифровом двойнике социальной системы. Разработанная математическая модель социальной системы, функционирующей в активной среде, позволяет определить влияние документов на поведение участников социальной системы и, как следствие, на поведение и, свойства социальной системы в целом. Это позволяет оценивать влияние новых документов, изменений существующих документов на результат функционирования социальной системы – входящий ресурсный поток и в том числе, входящий денежный поток, являющийся частью ресурсного. Таким образом, может быть реализован расчетный подход к формированию управленческих документов, предполагающий расчет содержания документа, обеспечивающего заданный управленческий эффект.

Внедрение в систему управления компании цифрового двойника предприятия и имитационной модели позволит существенно повысить обоснованность принимаемых решений, поскольку модель учитывает все существенные факторы, влияющие на результат функционирования социальной системы, включая активность участников, распространяющиеся в социально-экономическом пространстве потоки ресурсов и сообщений, а также действующие в социальной системе социальные институты, включая корпоративную культуру, внутренние и внешние регламентирующие документы, стереотипы поведения экономических агентов.

Удалось преодолеть и сложность учета инвариантности сообщений и зависимости от точки СЭП информации о стимулах и ограничениях, связанных с совершением определенных обусловленных действий, за счет введения в модель алфавита агента и процесса интерпретации получаемых от активных агентов сообщений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно отметить, что сегодня сформированы все существенные элементы имитационной агентно-ориентированной модели социальной системы, функционирующей в активной среде, которая может быть использована для создания алгоритмов расчета динамики любой социальной системы и, как следствие, может быть использована для создания «управленческого калькулятора».

Сформированный математический аппарат использует операции над множествами, дифференциальные и интегральные уравнения, что вполне позволяет использовать для вычисления распространенные программы.

Вместе с тем следует отметить, что сегодняшний уровень развития показанного инструмента ограничивает возможность его использования вследствие необходимости организации специальной подготовки специалистов и сбора необходимых для расчета данных. А для широкого использования этих инструментов в деятельности предприятий потребуется значительное количество справочной информации, для создания которой целесообразно организовывать специальные исследовательские программы в научных и учебных организациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андиева Е.Ю., Михайлов В.А. (2018). Цифровая трансформация интегрированных систем управления производственной деятельностью нефтеперерабатывающего предприятия // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. № 10. С. 26–35.

Багрин П.П. (2016). Возможность имитационного моделирования корпоративных систем // Теоретическая и прикладная экономика. № 1. Режим доступа: http://e-notabene.ru/etc/article_17763.html (дата обращения: 12.06.2021). <https://doi.org/10.7256/2409-8647.2016.1.17763>

Бурков В.Н., Буркова И.В. (2018). Умные механизмы и цифровая экономика // Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях: Материалы Международной научной конференции. Воронеж, 3–6 сентября 2018 г. / под ред. М.Г. Матвеева, Д.Н. Борисова. Воронеж: Воронежский государственный университет. С. 3–9.

Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. (2001). Вычислительная сложность задач управления активными системами // Труды Международной конференции «РАСО'2001». М.: ИПУ РАН. С. 81–102.

Каталевский Д.Ю. (2015). Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении. М.: Дело. 496 с.

Самосудов М.В. (2016). Теория корпоративного взаимодействия и устойчивость корпоративных систем: учебное пособие. М.: ГУУ. Режим доступа: http://iom.guu.ru/wp-content/uploads/sites/6/2019/05/2_Корп-взаимодействие_УчПос_2016-10-15.pdf (дата обращения: 10.06.2021).

Симонов П.В. (1988). Междисциплинарная концепция человека: Потребностно-информационный подход // Вопросы психологии. № 6. С. 94–100.

Симонов П.В. (1997). Нейробиология индивидуальности // Природа. № 3. С. 81–89.

Boschert S., Rosen R. (2016). Digital twin – the simulation aspect // Mechatronic Futures / Ed. by P. Hehenberger, D. Bradley. Cham: Springer. Pp. 59–74. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1_5

Grieves M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication: white paper. 7 p.

Jiang C., Ma Y., Zheng Y., Gao S., Cheng S., Chen H. (2018). Cyber physics system: a review // Library Hi Tech. V. 38, No. 1. Pp. 105–116. <https://doi.org/10.1108/LHT-11-2017-0256>

Lee J., Bagheri B., Kao H.A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems // Manufacturing Letters. V. 3. Pp. 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>

Epstein J.M. (2007). Generative social science: Studies in agent-based computational modeling. Princeton, N. J.: Princeton University Press. 352 p.

Macal C.M., North M.J. (2005). Tutorial on agent-based modeling and simulation // Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference / Ed. by M.E. Kuhl, N.M. Steiger, J.A. Joines. Pp. 2–15. <https://doi.org/10.1109/WSC.2005.1574234>

Samosudov M.V. (2019). The model of the incoming resource flow of the social system for digitalization of management // Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems. V. 11, No. 08-Special Issue. Pp. 2892–2900. Режим доступа: <http://www.jardcs.org/abstract.php?id=3053> (дата обращения: 12.06.2021).

Samosudov M.V. (2021a). Formalization of impact of information on the human behaviour for automatization of calculation of the marketing influence // International Journal of Engineering Research and Technology. V. 12, No. 13. Pp. 4849–4854.

- Samosudov M.V. (2021b). Formal characterization of the impact of the institutional environment in the digital twin of the enterprise // *Socio-Economic Systems: Paradigms for the Future. Studies in Systems, Decision and Control*. V. 314 / Ed. by E.G. Popkova, V.N. Ostrovskaya, A.V. Bogoviz. Cham: Springer. Pp. 899–909. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56433-9_95
- Söderberg R., Wärmeffjord K., Lindkvist L., Carlson J.S. (2017). Toward a digital twin for real-time geometry assurance in individualized production // *CIRP Annals*. V. 66, no. 1. Pp. 137–140. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038>
- Sowe S.K., Zettsu K., Simmon E., de Vault F., Bojanova I. (2016). Cyber-physical-human systems: Putting people in the loop // *IT Professional*. V. 18, No. 1. Pp. 10–13. <https://doi.org/10.1109/MITP.2016.14>
- Uhlemann T.H.-J., Schock C., Lehmann C., Freiburger S., Steinhilper R. (2017). The digital twin: demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems // *Procedia Manufacturing*. V. 9. Pp. 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.043>
- Uhlemann T.H.-J., Steinhilper R., Lehmann Ch. (2017). The digital twin: realizing the cyber-physical production system for Industry 4.0 // *Procedia CIRP*. V. 61. / Ed. by S. Takata, Y. Umeda, S. Kondoh. Pp. 335–340. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152>

REFERENCES

- Andieva E.Yu. and Mikhailov V.A. (2018), “Digital transformation of integrated management systems of an oil refining enterprise production activity”, *Automation, Telemechanization and Communication in Oil Industry*, no. 10, pp. 26–35. (In Russian).
- Bagrin P.P. (2016), The possibility of simulation of corporate systems, *Theoretical and Applied Economics*, no. 1. Available at: http://e-notabene.ru/etc/article_17763.html (accessed 12.06.2021). (In Russian). <https://doi.org/10.7256/2409-8647.2016.1.17763>
- Boschert S. and Rosen R. (2016), Digital twin – the simulation aspect, *Mechatronic Futures*, Ed. by P. Hehenberger, D. Bradley, pp. 59–74. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32156-1_5
- Burkov V.N. and Burkova I.V. (2018), “Smart mechanisms and the digital economy”, *Mathematical Modeling and Information Technologies in Engineering and Business Applications: Proceedings of the International Scientific Conference*, Voronezh, September 3–6, 2018, Ed. by M.G. Matveev, D.N. Borisov, Voronezh State University, Voronezh, Russia, pp. 3–9. (In Russian).
- Burkov V.N., Zalozhnev A.Yu. and Novikov D.A. (2001), “Computational complexity of active systems management problems”, *Proceedings of the International Conference “RASO’ 2001”*, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, pp. 81–102. (In Russian).
- Epstein J.M. (2007), *Generative social science: Studies in agent-based computational modeling*, Princeton University Press, Princeton, N. J, USA.
- Grieves M. (2014), Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication: white paper, 7 p.
- Jiang C., Ma Y., Zheng Y., Gao S., Cheng S. and Chen H. (2018), Cyber physics system: a review, *Library Hi Tech*, vol. 38, no. 1, pp. 105–116. <https://doi.org/10.1108/LHT-11-2017-0256>
- Katalevsky D.Yu. (2013), *Fundamentals of simulation modeling and system analysis in management*, Delo, Moscow, Russia. (In Russian).
- Lee J., Bagheri B. and Kao H.A. (2015), “A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems”, *Manufacturing Letters*, vol. 3, pp. 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Macal C.M., North M.J. (2005). “Tutorial on agent-based modeling and simulation” // *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, Ed. by M.E. Kuhl, N.M. Steiger, J.A. Joines, pp. 2–15. <https://doi.org/10.1109/WSC.2005.1574234>
- Samosudov M.V. (2016), *The theory of corporate interaction and the sustainability of corporate systems*, GUU, Moscow, Russia. Available at: http://iom.guu.ru/wp-content/uploads/sites/6/2019/05/2_Корп-взаимодействие_UCHPOS_2016-10-15.pdf (accessed 10.06.2021). (In Russian).
- Samosudov M.V. (2019), “The model of the incoming resource flow of the social system for digitalization of management”, *Journal of Advanced Research in Dynamical & Control Systems*, vol. 11, no. 08-Special Issue, pp. 2892–2900. Available at: <http://www.jardcs.org/abstract.php?id=3053> (accessed 12.06.2021).
- Samosudov M.V. (2021a), “Formalization of impact of information on the human behaviour for automatization of calculation of the marketing influence”, *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 12, no. 13, pp. 4849–4854.
- Samosudov M.V. (2021b), Formal characterization of the impact of the institutional environment in the digital twin of the enterprise, *Socio-Economic Systems: Paradigms for the Future. Studies in Systems, Decision and Control*, vol. 314, Ed. by E.G. Popkova, V.N. Ostrovskaya, A.V. Bogoviz. Cham, Springer, pp. 899–909. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56433-9_95

Simonov P.V. (1997), “Neurobiology of individuality”, *Priroda*, no. 3, pp. 81–89. (In Russian).

Söderberg R., Wärmeffjord K., Lindkvist L. and Carlson J.S. (2017), “Toward a digital twin for real-time geometry assurance in individualized production”, *CIRP Annals*, vol. 66, no. 1, pp. 137–140. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.038>

Sowe S.K., Zettsu K., Simmon E., de Vault F. and Bojanova I. (2016), “Cyber-physical human systems: Putting people in the loop”, *IT Professional*, vol. 18, no. 1, pp. 10–13. <https://doi.org/10.1109/MITP.2016.14>

Uhlemann T.H.-J., Schock C., Lehmann C., Freiburger S. and Steinhilper R. (2017), “The digital twin: demonstrating the potential of real time data acquisition in production systems”, *Procedia Manufacturing*, vol. 9, pp. 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.043>

Uhlemann T.H.-J., Steinhilper R. and Lehmann Ch. (2017), “The digital twin: realizing the cyber-physical production system for Industry 4.0”, *Procedia CIRP*, Ed. by S. Takata, Y. Umeda, S. Kondoh, vol. 61, pp. 335–340. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.152>

TRANSLATION OF FRONT REFERENCES

¹ Order of the Government of the Russian Federation No. 3684-r, dated on December 31, 2020 “On the Program of Basic Scientific Research in the Russian Federation for the Long-Term Period (2021-2030)”. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573319222?marker=64U0IK> (accessed 12.06.2021).

² Samosudov M.V. (2021), Methodological base of management, *Samosudov Mikhail Vladimirovich – personal website*. Available at: www.samosudov.ru/metodologicheskaya-baza (accessed 12.06.2021). (In Russian).

³ Ibid.