

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Том 31, № 1, 2025

Научный журнал издается с 1995 года

Учредитель

Учреждение образования «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Журнал включен в базы данных:

DOAJ, Google Scholar, Mendeley, Open Alex, РИНЦ

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЕ

- Зубрицкая И. А.** Модель экономического киберфизического пространства, ориентированная на повышение национальной конкурентоспособности..... 5
- Жданович О. В.** Цифровизация образования и EdTech как фактор экономического развития в условиях евразийской интеграции 13
- Батура М. П., Марахина И. В., Пархименко В. А.** Организационный механизм системного привлечения новых клиентов в IT-компаниях через социальные сети 22
- Козинец А. Н.** Применение методов машинного обучения для прогнозирования текучести кадров на основе открытых данных..... 31
- Зеневич А. М., Пунчик З. В., Сосновский О. А.** Опыт обучения методологии BPM при подготовке экономистов-информатиков 42
- Шабека В. Л.** От технологического стартапа к экономическому активу: концепты и субъекты стратегии коммерциализации 48

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Гурская Я. С.** Алгоритмы управления промышленными роботами в производстве продуктов питания, включая процессы сериализации и агрегации продукции 60
- Листопад Н. И., Бушик Е. А.** Применение теории множеств для оптимизации бизнес-процессов в учреждениях среднего специального образования 71

Главный редактор Вадим Анатольевич Богущ,
д. ф.-м. н., профессор, ректор Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники (Минск, Республика Беларусь)

Редакционная коллегия

Листопад Н. И., д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь – заместитель главного редактора

Беляцкая Т. Н., д. э. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь – заместитель главного редактора

Певнева Н. А., к. т. н., доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь – ответственный секретарь редакционной коллегии

Сафонов В. Г., д. ф.-м. н., профессор, Институт математики Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Байнев В. Ф., д. э. н., к. т. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Ковалёв М. М., Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, д. ф.-м. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Курбацкий А. Н., Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

Хацкевич Г. А., д. э. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Голенков В. В., д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Быков А. А., д. э. н., профессор, Белорусский государственный экономический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Сирота А. А., чл.-корр. Международной академии информатизации, д. т. н., профессор, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация

Малинецкий Г. Г., д. ф.-м. н., профессор, Институт прикладной математики имени М. В. Келдыша Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

Глухов В. В., д. э. н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Плотников В. А., д. э. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Касумов В. А., д. т. н., профессор, Бакинский инженерный университет, г. Хырдалан, Азербайджанская Республика

Ответственный секретарь Т. В. Мироненко

**Издание перерегистрировано в Министерстве информации Республики Беларусь 10 июня 2022 г.
Регистрационный номер 662**

Подписано в печать 17.03.2025. Формат бумаги 60×84%. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 7,9. Тираж 55 экз. Заказ 32.

Адрес редакции: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-88-41.
dig.tr@bsuir.by; http://dt.bsuir.by

Отпечатано в БГУИР. ЛП № 02330/264 от 24.12.2020.
220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6

© УО «Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»,
оригинал-макет, оформление, 2025

DIGITAL TRANSFORMATION

V. 31, No 1, 2025

The scientific journal is being published since 1995

Founder

Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”

The Journal is included in the following databases:
DOAJ, Google Scholar, Mendeley, Open Alex, RISC

CONTENTS

ECONOMIC SCIENCES, EDUCATION

Zubritskaya I. A. Model of Economic Cyber-Physical Space Focused on Improving National Competitiveness.....	5
Zhdanovich O. V. Digitalization of Education and EdTech as a Factor of Economic Development in the Context of Eurasian Integration.....	13
Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko U. A. Organizational Mechanism for Systematically Attracting New Clients to IT Company Through Social Networks.....	22
Kazinets A. N. Application of Machine Learning Methods for Employee Turnover Prediction Based on Open Data.....	31
Zenevich A. M., Punchik Z. V., Sosnowski O. A. Experience of Teaching BPM Methodology in Training Informatics Economists.....	42
Shabeka U. L. From Technological Startup to Economic Asset: Concepts and Subjects of Commercialization Strategy	48

TECHNICAL SCIENCES

Hurskaya Y. S. Algorithms for Controlling Industrial Robots in Food Production, Including the Processes of Serialization and Aggregation of Products.....	60
Listopad N. I., Bushchyk E. A. Application of Set Theory for Optimization of Business Processes in Secondary Special Education Institutions.....	71

Editor-in-Chief Vadim A. Bogush, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor,
Rector of the Belarusian State University of Informatics
and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Editorial Board

- Nikolai I. Listopad**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Deputy Chief Editor
- Tatiana N. Belyatskaya**, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Deputy Chief Editor
- Natalia A. Pevneva**, Cand. Sci., (Tech.), Associate Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Executive Secretary of the Editorial Board
- Vasily G. Safonov**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus
- Valery F. Baynev**, Dr. Sci. (Econ.), Cand. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
- Mikhail M. Kovalev**, Honored Scientist the Republic of Belarus, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
- Alexander N. Kurbatski**, Honored Scientist of the Republic of Belarus, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
- Gennady A. Khatskevich**, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
- Vladimir V. Golenkov**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus
- Aleksei A. Bykov**, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus
- Alexander A. Sirota**, Corresponding Member of International Informatization Academy, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation
- Georgiy G. Malinetskiy**, Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
- Vladimir V. Glukhov**, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation
- Vladimir A. Plotnikov**, Dr. Sci. (Econ.), Professor, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russian Federation
- Vagif A. Gasimov**, Dr. Sci. (Tech.), Professor, Baku Engineering University, Khirdalan, Republic of Azerbaijan

Responsible Secretary T. Mironenka

Publication is re-registered in the Ministry of Information of the Republic of Belarus in 2022, June, 10th
Reg. No 662

Signed for printing 17.03.2025. Format 60×84 ¼. Office paper. Printed on a risograph. Type face Times.
Ed.-pr. l. 9,53. Ed.-ed. l. 7,9. Edition 55 copies. Order 32.

ADDRESS

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
6, P. Brovki St., 220013, Minsk
Tel.: +375 17 293-88-41
dig.tr@bsuir.by; <http://dt.bsuir.by>

Printed in BSUIR. License LP No 02330/264 from 24.12.2020.
6, P. Brovki St., 220013, Minsk



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-5-12>

УДК 338.3 (476)

МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО КИБЕРФИЗИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА, ОРИЕНТИРОВАННАЯ НА ПОВЫШЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

И. А. ЗУБРИЦКАЯ

Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Выявлена актуальность развития методологических основ национальной конкурентоспособности в глобальной конкурентной среде. Обоснована практическая значимость разработки экономического методического инструментария, позволяющего упростить проведение ситуационного анализа, моделирование национальной конкурентоспособности, прогнозирование конкурентных стратегий и оценки их результатов. Выдвинута научная гипотеза о возможности использования показателей развития национальной киберфизической экосистемы для прогнозирования повышения национальной конкурентоспособности, что позволит расставить приоритеты объектно-объектной, субъектно-объектной и субъектно-субъектной экономических ее составляющих и оценить результаты принимаемых управленческих решений. Разработана модель экономического киберфизического пространства. В качестве функции повышения национальной конкурентоспособности обоснованы индекс интенсивности приращения цифрового капитала в стране и его экспорт. В качестве независимых аргументов разработаны индексы, характеризующие интенсивность промежуточного и конечного потребления цифровых ресурсов в экономике страны и их валового накопления. Введены параметрические экономические зависимости.

Ключевые слова: экономическое киберфизическое пространство, национальная конкурентоспособность, глобальная конкурентная среда, национальная киберфизическая экосистема, мировой рынок цифровых ресурсов, цифровая трансформация мирового хозяйства.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Зубрицкая, И. А. Модель экономического киберфизического пространства, ориентированная на повышение национальной конкурентоспособности / И. А. Зубрицкая // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 5–12. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-5-12>.

MODEL OF ECONOMIC CYBER-PHYSICAL SPACE FOCUSED ON IMPROVING NATIONAL COMPETITIVENESS

INESSA A. ZUBRITSKAYA

Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The relevance of developing methodological foundations for national competitiveness in a global competitive environment is revealed. The practical significance of the development of economic methodological tools is substantiated, which makes it possible to simplify the conduct of situational analysis, modeling of national competitiveness, forecasting competitive strategies and evaluating their results. A scientific hypothesis has been put forward about the possibility of using indicators of the development of the national cyberphysical ecosystem to predict an increase in national competitiveness, which will allow prioritizing the object-object, subject-object and subject-subject economic components of it and evaluating the results of management decisions. A model of the economic cyberphysical space has been developed. As a function of increasing national competitiveness, the index of the intensity of the increment of digital capital in the country and its export is justified. As independent arguments, indexes have been developed that characterize the intensity of intermediate and final consumption of digital resources in the country's economy and their gross accumulation. Parametric economic dependencies are introduced.

Keywords: economic cyber-physical space, national competitiveness, global competitive environment, national cyber-physical ecosystem, global digital resources market, digital transformation of the world economy.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Zubritskaya I. A. (2025) Model of Economic Cyber-Physical Space Focused on Improving National Competitiveness. *Digital Transformation*. 31 (1), 5–12. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-5-12> (in Russian).

Введение

Вопросы повышения конкурентоспособности рассматривались различными научными сообществами со второй половины XX века. Масштабная интернационализация конкуренции, оказывающая влияние на формирование и перераспределение конкурентоспособности стран в экономике мирового хозяйства, явилась предпосылкой множественных научных исследований, проводимых учеными разных стран в первой – второй декаде XXI в. [1–4]. В этот период неоднократно предпринимались попытки толкования взаимосвязанных понятий, таких как конкурентное преимущество, конкурентная стратегия, национальная конкурентоспособность [5–7]. На основе анализа проведенных ранее исследований в области конкурентоспособности выявлено множество теоретических моделей, характерные аспекты которых позволяют агрегировать их по основным свойствам и отношениям в следующие укрупненные группировки теоретической базы настоящего исследования:

- конкурентоспособность продукции;
- конкурентная среда в отдельных отраслях экономики;
- конкуренция между субъектами хозяйствования.

Следует отметить, что в проведенных ранее исследованиях также предпринимались попытки формирования теоретических моделей национальной конкурентоспособности, но все они основаны на конкурентоспособности отечественной продукции и субъектов народного хозяйства страны на мировом рынке [7]. Принимая во внимание результаты существующих научных исследований, можно отметить, что в части вопросов управления национальной конкурентоспособностью через непосредственное государственное воздействие с целью формирования национальных конкурентных преимуществ научные методологические основы только формируются. При этом анализ научных публикаций за 2020–2023 гг.¹ позволил выявить уменьшение количества публикаций экономического характера, посвященных научной проблематике повышения конкурентоспособности, что, вероятнее всего, связано со снижением популярности темы и с утратой к ней научного интереса. Вместе с тем увеличилось количество научных публикаций ученых-политологов, акцентирующих общественное внимание на современных научных проблемах по повышению национальной конкурентоспособности в контексте глобальной и политической конкуренции [8, 9].

Такое изменение научной парадигмы национальной конкурентоспособности связано с влиянием четвертой промышленной революции [10], формированием экономического киберфизического пространства [11]. Речь идет о глубоких уровнях цифровой трансформации экономики и общества, которые касаются смены производительных сил и производственных отношений, способов удовлетворения потребительского спроса и формирования предложения, переосмысления ценностей [12].

Цель исследования – научно обосновать параметры целевых функций и их аргументов, разработать модель развития экономического киберфизического пространства, способствующую повышению национальной конкурентоспособности в условиях глобальной цифровизации.

Модель экономического киберфизического пространства

Предметом исследования является модель экономического киберфизического пространства, ориентированная на повышение национальной конкурентоспособности. Развитие производственных киберфизических экосистем оказывает влияние на развитие экономических систем различного уровня, включая промышленные предприятия (организации), производственные отрас-

¹ Научная электронная библиотека РИНЦ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/>. Дата доступа: 23.03.2024.

ли, сферу услуг, государственное управление. Отраслевая конкуренция принимает новые формы сотрудничества, производители становятся участниками киберфизической экосистемы посредством изменения своих бизнес-моделей, путем внедрения производственных киберфизических систем, чтобы показать экосистеме свои возможности, а потенциальному потребителю – соответствующее запросу предложение.

Внедрение в производственные процессы киберфизических систем, представляющих собой интегрированные функционалы исполнительных машин и механизмов с интеллектуальными компонентами на основе применения облачных технологий, промышленного интернета вещей, машинообучения, искусственного интеллекта, блокчейна позволяет приобщиться (адаптироваться) к любой киберфизической экосистеме или стать ее создателем и приобрести конкурентные преимущества в опережающем удовлетворении кастомизированного спроса. Максимизация указанного функционала при определенных условиях сопровождается приростом экспорта промышленной продукции с высокой валовой добавленной стоимостью цифрового происхождения (цифровой валовой добавленной стоимости) и увеличением цифрового капитала. Сотрудничество стран в формировании единого экономического киберфизического пространства в соответствии с его основными свойствами будет способствовать расширению и углублению экономической интеграции, эффективной адаптации интеграционных объединений в условиях изменяющейся внешней окружающей среды и рыночного спроса.

На основе вышеизложенного сформирована научная гипотеза о связи экономических индикаторов развития национальной киберфизической экосистемы с повышением национальной конкурентоспособности. Обеспечение технологического суверенитета, повышение общественного благосостояния, т. е. категорий, которые главным образом построены на основе интегрированных стратегий и являются актуальными целями государственной политики, поставленными в законодательных актах государств-членов ЕАЭС, в том числе Республики Беларусь^{2,3,4}, могут быть достигнуты в условиях обеспечения научно-технологической базы развития национальных киберфизических экосистем, в настоящее время измеряемых масштабами и интенсивностью цифровизации экономики, не затрагивающими, как правило, глубинных научно-технологических аспектов.

Масштабное воздействие множественных изменяющихся внутренних и внешних факторов затрудняет формирование государственной политики в области цифрового развития, обеспечивающей технологический суверенитет и повышение национальной конкурентоспособности, что обуславливает необходимость разработки методологического инструментария, позволяющего упростить проведение ситуационного анализа и прогнозирования новых конкурентных преимуществ, приобретаемых субъектами хозяйствования на основе развития национальных киберфизических экосистем [13]. Таким образом, разработка и реализация модели экономического киберфизического пространства, ориентированной на повышение национальной конкурентоспособности, представляется актуальной и перспективной научной проблемой, решение которой позволит формализовать моделирование сценариев для принятия обоснованных стратегических управленческих решений в отношении цифрового развития страны и повышения национальной конкурентоспособности. Развитие методологических основ национальной конкурентоспособности в современных условиях обусловлено необходимостью введения нового научного направления по исследованию вопросов экономического развития национальной киберфизической экосистемы, обеспечивающей гуманитарную безопасность и преимущества в экономическом киберфизическом пространстве.

Экономика киберфизического пространства как научное направление, изучающее межобъектные, субъектно-объектные и межсубъектные отношения, объединенные целями решения вопросов оптимизации производственных и бизнес-процессов, распределения результатов деятельности объектов и субъектов хозяйствования в условиях смены технико-технологической парадигмы, обладает признаками нового направления экономической науки. Научная новизна

² О развитии цифровой экономики [Электронный ресурс]: Декрет Президента Респ. Беларусь от 21 дек. 2017 г. № 8 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь.

³ О Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Сов. Министров Респ. Беларусь от 2 фев. 2021 г. № 66 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь.

⁴ Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь от 7 апр. 2022 г. № 136 // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь.

заключается в познании новых производительных сил (киберфизических производственных систем), созданных человеком с использованием цифровых ресурсов и исполнительных механизмов, взаимодействия которых направлены не только на производство продукции, но и на принятие управленческих решений, автоматическое разрешение противоречий на основе принципа согласованности с целью создания и увеличения потребительской ценности, выраженной в приросте цифрового капитала и его экспорта. Практическая значимость нового научного направления обусловлена разработкой прикладного методического инструментария, предназначенного для анализа и оценки развития национальной киберфизической экосистемы как относительно неделимой части экономического киберфизического пространства с возможностью проведения мониторинга и прогнозирования его развития.

С совершенствованием технологий искусственного интеллекта, расширением масштаба применения практики моделирования объектов и бизнес-процессов с помощью цифровых двойников у лица, принимающего решения, расширяются возможности моделирования стратегий на основе оперативной ситуационной аналитики. Обучение искусственного интеллекта систематизации по заданным параметрам, характеризующим политические, экономические, социальные и технологические факторы, позволяет контролировать влияние внешней среды на национальную киберфизическую экосистему, разрабатывать допустимые логические сценарии и возможные варианты для принятия решений, способствующих повышению конкурентоспособности страны. Вместе с тем развитие конкурентного преимущества страны в условиях глобальной конкуренции и его удержание на мировом рынке связаны с масштабом и темпами интеграции промышленного покупателя в процесс разработки продукции в части определения и выбора необходимых потребительских свойств. Преобразование искусственным интеллектом оговоренных с заказчиком в режиме реального времени потребительских свойств продукции в качественные и количественные технические характеристики представляет собой новый когнитивный подход к выявлению потребительских предпочтений. Моделирование конкурентных преимуществ на основе когнитивного метода выявления спроса и прогнозирования результата реализации решений осуществляется путем отбора и классификации формализованных идей. При этом, с одной стороны, появляется возможность наиболее полно и оперативно удовлетворить ожидания промышленного заказчика, с другой – сократить время на разработку и коммерциализацию процессных и продуктовых инноваций в производственной сфере.

Таким образом, развитие и совершенствование экономического киберфизического пространства способствует удовлетворению потребительского спроса в нужное время и в требуемом количестве, что приводит к реализации произведенной продукции в полном объеме с высокой добавленной стоимостью и благоприятствует выявлению конкурентных преимуществ и их удержанию. Теоретическими основами для разработки модели экономического киберфизического пространства, способствующей повышению национальной конкурентоспособности, являются проведенные ранее исследования экономической сути национальной киберфизической экосистемы, под которой понимается интегрированная совокупность целевых бизнес-сообществ, интегрированная в результате сквозной цифровой трансформации отраслей народного хозяйства страны, обусловленная непрерывными субъектно-объектными, объектно-объектными, субъектно-субъектными взаимодействиями, способствующими росту общественного благосостояния и национальной безопасности на основе своевременного реагирования и адаптации к изменяющимся факторам макро- и микросреды [13]. Необходимыми и достаточными условиями модели принимаются:

- системность и комплексность;
- интегрируемость;
- сопоставимость результатов;
- доступность и простота использования для всех заинтересованных сторон.

Масштабное внедрение технико-технологических средств четвертой промышленной революции сопровождается приростом потребления и накопления цифровых ресурсов в экономиках стран [14], что в динамике характеризует интенсивность развития экономического киберфизического пространства. При приросте промежуточного потребления таких ресурсов формируется цифровая валовая добавленная стоимость [15] (цифровой капитал национального происхождения), а прирост прямого и косвенного экспорта цифрового капитала свидетельствует о повышении национальной конкурентоспособности.

Способ агрегирования прямых индикаторов масштаба и интенсивности развития национальной киберфизической экосистемы основан на апробированной ранее модели экономической оценки цифровой трансформации обрабатывающей промышленности [16]. Условия обеспечения национальной конкурентоспособности могут быть представлены следующими экономическими критериями:

- выпуском цифровых ресурсов и интеллектуальных исполнительных машин и механизмов, образующих технико-технологическую основу национальной киберфизической экосистемы;
- промежуточным потреблением цифровых ресурсов в экономике страны, в том числе в отраслях, осуществляющих выпуск интеллектуальных исполнительных машин и механизмов;
- промежуточным потреблением интеллектуальных исполнительных машин и механизмов;
- конечным потреблением цифровых ресурсов, рост которого характеризует развитие цифровых навыков и компетенций персонала государственного сектора и населения страны;
- валовым накоплением и изменением запасов в разрезе отраслей, осуществляющих выпуск интеллектуальных исполнительных машин и механизмов;
- экспортом цифровой валовой добавленной стоимости национального происхождения.

Согласно [15, с. 98], под цифровыми ресурсами понимается совокупность материальных и нематериальных активов, включаемых в стоимость промышленной продукции частями или полностью, назначение которых состоит в использовании информации в цифровом виде в управлении производственными, продуктовыми и бизнес-процессами. Цифровая валовая добавленная стоимость – это совокупный доход, полученный на основе потребления в экономике цифровых ресурсов и применения в хозяйственной деятельности цифровых знаний, навыков и компетенций управленцев и специалистов технико-технологического профиля [15, с. 99]. В соответствии с принятой международной [17] и государственной [18] классификацией продукции цифровыми ресурсами для развития национальной киберфизической экосистемы являются:

- компьютеры, электронное и оптическое оборудование (секция СI, раздел 26);
- телекоммуникационные услуги (секция J, подсекция JB, раздел 61);
- консультационные и аналогичные им услуги в области компьютерного программирования (секция J, подсекция JB, раздел 62);
- услуги в области информационного обслуживания (секция J, подсекция JB, раздел 63).

Таким образом, развитие методологических основ экономического киберфизического пространства, а также результаты анализа установленных параметрических макроэкономических зависимостей позволили разработать модель экономического киберфизического пространства, ориентированную на повышение конкурентоспособности страны, которая включает детерминанты и их структуризацию в рамках тематики настоящего исследования.

Математический аппарат модели экономического киберфизического пространства

В отличие от существующих подходов, отражающих состояние цифровой экономики по показателю валовой добавленной стоимости ИКТ-сектора, который традиционно рассчитывается как разность между выпуском и материальными затратами видов экономической деятельности, его образующих, предлагаемый автором показатель производительности по экспорту национального цифрового капитала, отражающий национальную конкурентоспособность в цифровую эпоху, рассчитывается из коэффициентов полной и прямой цифровой добавленной стоимости на основе эмпирических данных межотраслевого баланса и статистических показателей населения страны. Предлагаемая модель имеет вид двух целевых функций с условиями максимумов в соответствии с поставленными в исследовании задачами:

$$C_N(t) = ENDGVA(t);$$
$$NDGVA(t) = [DC_{ij}(t)] \cdot [KODVA_i(t)] - [DC_{ij}(t)] \cdot [KDDVA_i(t)],$$

где $C_N(t)$ – конкурентоспособность страны N в условиях глобальной конкуренции в исследуемый период t ; $ENDGVA$ – производительность труда по экспорту национального цифрового капитала $NDGVA$ (National Digital Gross Value Added) в период t , рассчитывается соотношением стоимости экспорта $NDGVA$ и численности населения страны (прирост показателя характеризует повышение конкурентоспособности национальной киберфизической экосистемы); $DC_{ij}(t)$ – стоимость

распределенных в экономике цифровых ресурсов подраздела i в исследуемый период t , включающая стоимости валового накопления, изменения запасов, конечного потребления и экспорта; $KODVA_i(t)$, $KDDVA_i(t)$ – коэффициенты полной и прямой цифровой валовой добавленной стоимости раздела i в исследуемый период t , рассчитанные на основе коэффициентов полных затрат с применением коэффициентов прямой добавленной стоимости.

Формулы для расчета коэффициентов, используемых в модели, подробно описаны и апробированы в [15]. В отличие от существующих подходов [19] к формализации закономерностей экономического роста на основе межотраслевого баланса в разработанной модели предлагается исследование зависимости повышения конкурентоспособности страны в условиях глобальной конкуренции от экспорта цифрового капитала, который формируется видами экономической деятельности [20] как индикатор развития национальной киберфизической экосистемы, определяемый интенсивностью потребления и накопления цифровых ресурсов в экономическом цикле.

Результаты исследований и их обсуждение

В условиях усиливающейся глобальной конкуренции, в том числе в контексте технико-технологического превосходства развитых стран, растущего цифрового неравенства, обусловленного неравномерным распределением и потреблением цифрового капитала, предлагаемая модель экономического киберфизического пространства позволяет исследовать происходящие экономические процессы в обществе, управлять их развитием. Феномен циркуляции в экономике нового вида капитала, получаемого путем прямого и косвенного потребления цифровых активов в качестве средств, предметов труда и собственно труда, создающих добавленную стоимость без прямого участия человека в производственных и бизнес-процессах, формализован в динамическую систему зависимостей развития экономического киберфизического пространства от интенсивности циркуляции цифрового капитала в экономике страны и повышения национальной конкурентоспособности от его экспорта.

Разработанная модель является инструментарием обеспечения прогнозирования, мониторинга адаптивной реализации Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы, государственных программ Республики Беларусь в сфере цифровой экономики и может быть применена как необходимый прикладной инструмент оценки развития экономического киберфизического пространства на национальном уровне. Научная новизна полученных результатов заключается в обосновании формирования цифрового капитала, ранее не рассматриваемого экономической наукой, масштабы и темпы циркуляции которого характеризуют развитие национальной киберфизической экосистемы, а соотношение цифрового капитала и внутреннего валового продукта характеризует его интенсивность.

Заключение

1. Результаты настоящего исследования получены на основе разработанной методологии экономического киберфизического пространства, выявленных тенденций трансформации производственных ресурсов и капитала в условиях четвертой промышленной революции.

2. Исследования предназначены для специалистов в сфере цифровой экономики, ученых, аспирантов, докторантов и для тех, кто интересуется новыми подходами в развитии теории и методологии экономической науки.

Список литературы

1. Портер, М. Е. Конкуренция / М. Е. Портер; пер. с англ. М.: Вильямс, 2005.
2. Портер, М. Международная конкуренция: конкурентные преимущества стран / М. Портер. М.: Альпина Паблишер, 2016.
3. Фатхутдинов, Р. А. Конкурентоспособность: экономика, стратегия, управление / Р. А. Фатхутдинов. М.: Инфра-М, 2000.
4. Воробьев, И. П. Кооперация и конкуренция / И. П. Воробьев, Е. И. Сидорова, Т. И. Ленская. Минск: Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси, 2012.
5. Портер, М. Конкурентное преимущество: как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость / М. Портер; пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2020.
6. Портер, М. Конкурентная стратегия: методика анализа отраслей и конкурентов / М. Портер; пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2011.

7. Горбунов, А. Р. Национальная конкурентоспособность: стратегическое моделирование концернов / А. Р. Горбунов. М.: Анкил, 2009.
8. Шаклеина, Т. А. Феномен «управляемой глобальной конкуренции» и интересы России: новая конкуренция в Арктике / Т. А. Шаклеина, К. Г. Водопьянов, И. Д. Яковенко // Право и управление. XXI век. 2022. Т. 1, № 62. С. 17–29. <https://doi.org/10.24833/2073-8420-2022-1-62-17-29>.
9. Nisnevich, Yu. A. Political Administration VS Political Competition Under Neo-Authoritarian Rule / Yu. A. Nisnevich // RUDN Journal of Political Science. 2023. Vol. 25, No 2. P. 397–422.
10. Зубрицкая, И. А. Мировой опыт внедрения технико-технологических средств четвертой промышленной революции: результаты экономического анализа / И. А. Зубрицкая // Новая экономика. 2019. № 1. С. 80–90.
11. Зубрицкая, И. А. Экономика киберпространства: структура киберкапитала / И. А. Зубрицкая // «Фотинские чтения – 2022»: матер. IX Междунар. науч.-практ. конф., г. Ижевск, 26–28 мая 2022 г. Ижевск: Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2022. С. 94–101.
12. Зубрицкая, И. А. Цифровой капитал: новые показатели экономики / И. А. Зубрицкая // Новая экономика. 2022. № 2. С. 234–246.
13. Зубрицкая, И. А. Национальная киберфизическая экосистема: теоретические и методологические аспекты / И. А. Зубрицкая // Наука и инновации. 2023. № 3. С. 43–47. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-03-43-47>.
14. Зубрицкая, И. А. Методологический подход к измерению емкости мирового рынка цифровых ресурсов: альтернативные показатели цифрового развития стран / И. А. Зубрицкая // Журнал международного права и международных отношений. 2023. № 1. С. 64–72.
15. Зубрицкая, И. А. Измерение цифровой добавленной стоимости национальной экономики по данным межотраслевого баланса / И. А. Зубрицкая // Белорусский экономический журнал. 2023. № 1. С. 60–74.
16. Зубрицкая, И. А. Индустрия 4.0: цифровая трансформация обрабатывающей промышленности Республики Беларусь / И. А. Зубрицкая // Цифровая трансформация. 2019. № 3. С. 23–38. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-3-23-38>.
17. Statistical Classification of Economic Activities in the European Community [Electronic Resource] / Eurostat. Statistics Explained. Mode of access: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF>. Date of access: 17.03.2024.
18. Классификатор продукции по видам экономической деятельности: ОКРБ 007–2012. Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/klassifikatory/>. Дата доступа: 27.03.2024.
19. Аксень, Э. М. Моделирование динамики отраслевых показателей с использованием теории полезности / Э. М. Аксень // Белорусский экономический журнал. 2018. № 4. С. 123–147.
20. Виды экономической деятельности: ОКРБ 005–2011. Режим доступа: www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/klassifikatory/OKRB_005-2011_s_izm_1-5.pdf. Дата доступа: 14.03.2024.

Поступила 15.11.2024

Принята в печать 31.12.2024

Доступна на сайте 10.04.2025

References

1. Porter M. E. (2025) *Competition: Translated from English*. Moscow, Williams Publ. (in Russian).
2. Porter M. (2016) *International Competition: Competitive Advantages of Countries*. Moscow, Alpina Publisher Publ. (in Russian).
3. Fatkhutdinov R. A. (2000) *Competitiveness: Economics, Strategy, Management*. Moscow, Infra-M Publ. (in Russian).
4. Vorobyov I. P., Sidorova E. I., Lenskaya T. I. (2012) *Cooperation and Competition*. Minsk, Institute of System Research in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus (in Russian).
5. Porter M. (2020) *Competitive Advantage: How to Achieve High Results and Ensure Their Sustainability*. Moscow, Alpina Publisher Publ. (in Russian).
6. Porter M. E. (2011) *Competitive Strategy: A Methodology for Analyzing Industries and Competitors*. Moscow, Alpina Publisher Publ. (in Russian).
7. Gorbunov A. R. (2009) *National Competitiveness: Strategic Modeling of Concerns*. Moscow, Ankil Publ. (in Russian).
8. Shakleina T. A., Vodopyanov K. G., Yakovenko I. D. (2022) The Phenomenon of “Managed Global Competition” and Russia’s Interests: New Competition in the Arctic. *Law and Management. XXI Century*. 1 (62), 17–29. <https://doi.org/10.24833/2073-8420-2022-1-62-17-29> (in Russian).
9. Nisnevich Yu. A. (2023) Political Administration VS Political Competition Under Neo-Authoritarian Rule. *RUDN Journal of Political Science*. 25 (2), 397–422.
10. Zubritskaya I. A. (2019) World Experience in the Introduction of Technical and Technological Means of the Fourth Industrial Revolution: Results of Economic Analysis. *New Economics*. (1), 80–90 (in Russian).

11. Zubritskaya I. A. (2022) Economics of Cyberspace: Structure of Cyber Capital. *Fotinsky Readings – 2022: Proceedings IX International Scientific and Practical Conference, Izhevsk, May 26–28*. Izhevsk, Publishing House of the Moscow State Pedagogical University named after M. T. Kalashnikov. 94–101 (in Russian).
12. Zubritskaya I. A. (2022) Digital Capital: New Economic Indicators. *The New Economy*. (2), 234–246 (in Russian).
13. Zubritskaya I. A. (2023) National Cyber-Physical Ecosystem: Theoretical and Methodological Aspects. *Science and Innovation*. (3), 43–47. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2023-03-43-47> (in Russian).
14. Zubritskaya I. A. (2023) Methodological Approach to Measuring the Capacity of the Global Digital Resources Market: Alternative Indicators of Countries' Digital Development. *Journal of International Law and International Relations*. (1), 64–72 (in Russian).
15. Zubritskaya I. A. (2023) Measuring the Digital Value Added of the National Economy According to Inter-Industry Balance Data. *Belarusian Economic Journal*. (1), 60–74 (in Russian).
16. Zubritskaya I. A. (2019) Industry 4.0: Digital Transformation of Manufacturing Industry of the Republic of Belarus. *Digital Transformation*. (3), 23–38. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-3-23-38> (in Russian).
17. Statistical Classification of Economic Activities in the European Community. *Eurostat. Statistics Explained*. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902521/KS-RA-07-015-EN.PDF> (Accessed 17 March 2024).
18. *National Classifier of the Republic of Belarus 007–2012. Classifier of Products by Types of Economic Activity*. Available: <https://www.belstat.gov.by/klassifikatory> (Accessed 27 March 2024) (in Russian).
19. Aksen E. M. (2018) Modeling of Sectoral Indicators Dynamics with the Application of Utility Theory. *Belarusian Economic Journal*. (4), 123–147 (in Russian).
20. *National Classifier of the Republic of Belarus 005–2011. Types of Economic Activity*. Available: www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/klassifikatory/OKRB_005-2011_s_izm_1-5.pdf (Accessed 14 March 2024) (in Russian).

Received: 11 November 2024

Accepted: 31 December 2024

Available on the website: 10 April 2025

Сведения об авторе

Зубрицкая И. А., канд. экон. наук, доц. каф. маркетинга, Белорусский национальный технический университет

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, просп. Независимости, 65
Белорусский национальный
технический университет
Тел.: +375 17 393-97-97
E-mail: zubritskaya@tut.by
Зубрицкая Инесса Анатольевна

Information about the author

Zubritskaya I. A., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor of the Marketing Department, Belarusian National Technical University

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Independence Ave., 65
Belarusian National
Technical University
Tel.: +375 17 393-97-97
E-mail: zubritskaya@tut.by
Zubritskaya Inessa Anatolyevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-13-21>

УДК 330.34.014.2

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И EDTECH КАК ФАКТОР ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ЕВРАЗИЙСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ

О. В. ЖДАНОВИЧ

Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Рассмотрены основные концепции, направления и факторы развития цифровизации образовательных услуг в государствах-членах Евразийского экономического союза. Дана оценка влияния цифрового образования и онлайн-обучения на экономическое развитие этих государств. Сделан прогноз роста количества интернет-пользователей до 2026 г., поскольку он может являться важным индикатором для последующего анализа динамики рынка онлайн-образования. Проведен корреляционно-регрессионный анализ факторов, влияющих на онлайн-образование в России, определены уровень и характер взаимосвязи между ВВП на душу населения и факторами, влияющими на развитие российского онлайн-образования, что позволило сделать вывод о перспективах данного сегмента.

Ключевые слова: цифровизация, Евразийский экономический союз, онлайн-образование, цифровая экономика, стейкхолдеры, глобальный индекс инноваций.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Жданович, О. В. Цифровизация образования и EdTech как фактор экономического развития в условиях евразийской интеграции / О. В. Жданович // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 13–21. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-13-21>.

DIGITALIZATION OF EDUCATION AND EDTECH AS A FACTOR OF ECONOMIC DEVELOPMENT IN THE CONTEXT OF EURASIAN INTEGRATION

OLGA V. ZHDANOVICH

Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article considers the main concepts, directions and factors of the development of educational services digitalization in the member states of the Eurasian Economic Union. The impact of digital education and online learning on the economic development of these states is assessed. A forecast of the growth in the number of Internet users until 2026 is made, since it can be an important indicator for the subsequent analysis of the dynamics of the online education market. A correlation and regression analysis of the factors influencing online education in Russia is carried out, the level and the nature of the relationship between GDP per capita and the factors influencing the development of Russian online education are determined, which allows to draw a conclusion about the prospects of this segment.

Keywords: digitalization, Eurasian Economic Union, online education, digital economy, stakeholders, global innovation index.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Zhdanovich O. V. (2025) Digitalization of Education and EdTech as a Factor of Economic Development in the Context of Eurasian Integration. *Digital Transformation*. 31 (1), 13–21. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-13-21> (in Russian).

Введение

Цифровая трансформация систем образования в государствах-членах Евразийского экономического союза (ЕАЭС) является многомерным процессом, в котором необходимо учитывать такие аспекты, как укрепление инфраструктуры аппаратного и программного обеспечения, повышение цифровой грамотности стейкхолдеров (всех заинтересованных лиц) в разработке актуального электронного контента, защита персональных данных и кибербезопасность. Цифровая экономика построена на основе этических принципов для гарантии инклюзивности и устойчивости, и трансформация ее успешна, когда все стороны, участвующие в данном процессе, разделяют видение и возможности, предоставляемые цифровыми технологиями. В государствах-членах ЕАЭС реализована повестка, где отражены стратегические приоритеты и национальные инициативы развития в данной сфере. Новые программы экономического развития должны коррелировать с развитием «Индустрии 4.0», которая определяется не одной технологией, а цифровизацией образовательных услуг и плавной интеграцией множества инструментов и инноваций [1].

Цифровизация образования и ее роль в экономике: опыт государств-членов ЕАЭС

Термин «цифровая экономика» обычно обсуждается в контексте цифровой трансформации. Цифровые технологии все чаще признаются ключевыми факторами прогресса в достижении целей устойчивого развития, предлагая инновационные решения, которые могут стимулировать изменения в глобальном масштабе.

На уровень развития цифрового образования могут влиять различные факторы, связанные с совершенствованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Эти факторы рассматриваются в различных рейтингах социально-экономического положения государств-членов ЕАЭС. В табл. 1 представлен анализ наиболее значимых показателей национальных концепций и определены основные тенденции цифрового ландшафта сферы образования.

Таблица 1. Анализ опыта инновационного развития в области цифрового образования в государствах-членах ЕАЭС

Table 1. Analysis of the experience of innovative development in the field of digital education in the EAEU member states

Государство	Концепция в области цифровизации образования	Фактор, характеризующий цифровой ландшафт								Основное направление развития цифровизации образования
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	
Армения	Динамичное развитие ключевых цифровых образовательных навыков среди всех возрастных групп общества закреплено в «Стратегии цифровизации Армении 2021–2025 гг.» [2], что взаимосвязано с модернизацией государственного сектора и экономики	64	64	72	42	87	74	74	78	Реализация комплексных образовательных программ для всех возрастных и социальных групп населения, реализация программы цифровой трансформации, отвечающая на вызовы экономики будущего с учетом требования кибербезопасности
Беларусь	Концепция развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года [3], включающая модернизацию инфраструктуры системы образования, внедрение прорывных технологий в образовательный процесс, таких как: блокчейн, уберизация, наборы сенсоров, формирующие «умные учреждения», технологии больших данных, искусственный интеллект и др.	*	58	80	37	71	62	76	47	Внедрение республиканской автоматизированной системы «Электронное образование», адаптация онлайн-платформы «ПрофиТест», широкое использование интернет-услуг и интернет-сервисов, поскольку доступ к сети интернет имеют 99 % образовательных учреждений

Окончание табл. 1
Ending of Tab. 1

Государство	Концепция в области цифровизации образования	Фактор, характеризующий цифровой ландшафт								Основное направление развития цифровизации образования
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	
Казахстан	Концепция цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023–2029 гг. [4], которая способствует всестороннему развитию инновационного потенциала страны, а также укреплению отечественной образовательной системы и переходу ее на качественно новый уровень, тем самым обеспечивая существенное повышение конкурентоспособности казахстанской экономики	58	28	81	10	61	53	86	36	Продолжается работа по созданию региональных хабов на базе частных и региональных технических организаций высшего и (или) послевузовского образования совместно с представителями бизнес-кругов. Ведется работа по созданию Единой платформы «электронного правительства»
Кыргызстан	Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018–2040 гг. [5], которая определяет такие направления развития, как внедрение цифрового образования и развитие цифровых навыков на всех уровнях системы образования	95	81	106	6	88	98	93	76	Продолжится масштабная подготовка высококлассных IT-специалистов, ведется разработка системы по обучению и переобучению цифровым навыкам населения, включая уязвимые группы, а также развитие национального цифрового контента на местных языках
Россия	Страна-лидер среди государств-членов ЕАЭС по реализации цифровой повестки. Согласно национальному проекту «Образование» [6], приоритетом выступает глобальная конкурентоспособность высшего образования, а также активное внедрение искусственного интеллекта в образовательный процесс	40	42	51	69	51	46	56	29	Продолжится реализация проектов «Датахаб» (система управления данными сферы науки и высшего образования), «Архитектура цифровой трансформации», «Цифровой университет», «Единая сервисная платформа науки», «Маркетплейс программного обеспечения и оборудования», «Цифровое образование», «Сервис хаб»
<p>*Беларусь в рейтинге не участвует. <i>Обозначения:</i> R1, R2, R4, R5, R6, R7, R8 – соответственно рейтинги стран по индексам сетевой готовности (2022 г., 131 страна), развития электронного правительства (2022 г., 193 страны), доступности интернета (2023 г., 121 страна), качества интернета (2023 г., 121 страна), электронной инфраструктуры (2023 г., 121 страна), электронной безопасности (2023 г., 121 страна), уровня образования (2022 г., 111 стран); R3 – рейтинг Глобального инновационного индекса (ГИИ) (2023 г., 132 страны). <i>Примечание</i> – Разработка автора на основании [2–6].</p>										

В рейтингах табл. 1 отражены индексы и субиндексы цифрового взаимодействия, включая доступность интернета, качество интернет-соединения, уровень цифровой инфраструктуры, электронную безопасность, электронное правительство. Изменения сопровождаются не только возможностями для экономического развития, но и угрозами, ответом на которые являются кибербезопасность, конфиденциальность данных и критическое использование информации.

Анализируя индекс сетевой готовности R1, как комплексный показатель, характеризующий уровень развития информационно-коммуникационных технологий и сетевой экономики в странах, можно сделать вывод, что лучшая позиция среди государств-членов ЕАЭС у России – 40-е место. Это свидетельствует о том, что в стране тесная связь между развитием ИКТ и экономическим благополучием. Беларусь в R1 не участвует, а самый низкий показатель у Кыргызстана – 95-я позиция в рейтинге: причины – низкий уровень электронной инфраструктуры (R6 – 98-е место) и недостаточное развитие инновационной деятельности (R3 – 106-е место).

В рейтинге ГИИ R3 Россия также занимает высшую позицию – 51-е место, демонстрируя инновационную активность, конкурентоспособность, а также диверсификацию экономики и стимулирование деловой активности. R2 – это тоже комплексный показатель, характеризующий уровень развития электронного правительства в государствах-членах ЕАЭС. Они ранжируются в рейтинге на основе взвешенного индекса оценок по трем основным составляющим – степени охвата и качеству интернет-услуг, уровню развития ИКТ-инфраструктуры и человеческому капиталу. В данном рейтинге наивысшее место у Казахстана – 28-е, хотя, согласно положениям Концепции, до 2029 г. в стране планируется запуск Единой платформы «электронного правительства». Кыргызстан занимает 81-е место, демонстрируя низкий уровень развития цифровых услуг.

Рассматривая комплексно индексы доступности и качество интернета, электронную инфраструктуру и электронную безопасность (R4–R7), которые можно объединить в один рейтинг цифрового благополучия, можно сделать вывод о том, что Казахстан и Россия занимают лидирующие позиции в цифровом благополучии – 47-е и 53-е места соответственно. На 69-м месте расположилась Армения, на один пункт ниже Беларусь, Кыргызстан находится на 71-м месте в рейтинге.

Немаловажным аспектом является уровень образования R8 – Россия, Казахстан и Беларусь входят в топ-50 лучших государств рейтинга из 111-ти, отстают Армения (78-я позиция) и Кыргызстан (76-я). В современных реалиях индустрия образования все чаще использует курсы смешанного и дистанционного обучения, которые доступны для людей всех возрастов и являются экономически эффективными. Армении и Кыргызстану еще предстоит большая работа в области трансформации своих систем образования и адаптации их с учетом цифровой повестки. Важным условием для успешной реализации цифровой повестки остается доступность интернета для всех слоев населения.

По данным отдела народонаселения Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН, население мира составляет 8,08 млрд чел., по сравнению с 2023 г. численность увеличилась на 74 млн чел., что соответствует росту в годовом исчислении на 0,9 % [7]. В связи с этим за последние 10 лет наблюдается значительное увеличение числа интернет-пользователей во всем мире. В 2023-м эта отметка достигла 5,4 млрд чел., что на 2,9 млрд чел. больше, чем в 2014 г. (рис. 1).

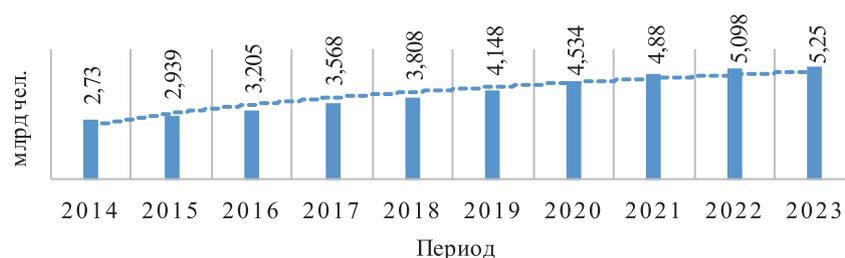


Рис. 1. Количество интернет-пользователей за период 2014–2023 гг.
(разработка автора на основе [7])

Fig. 1. The number of Internet users for the period 2014–2023
(development by the author based on [7])

Согласно последним данным Международного союза электросвязи, аналитического агентства GSMA Intelligence, а также проанализированным данным различных государственных статистических ведомств, на рис. 2 проиллюстрирована динамика роста интернет-пользователей в мире. На основании данных, представленных на рис. 2, отмечается положительная тенденция роста количества интернет-пользователей, которая может достигнуть отметки 6,16 млрд чел. к 2026 г. Это свидетельствует о том, что интернет станет еще доступнее. Но, несмотря на стремительное увеличение пользователей сети интернет, более чем 2,7 млрд чел. мирового населения не используют его, например, в Индии это порядка 680 млн чел. На рис. 3 показан уровень доступности интернета к общей численности населения государств-членов ЕАЭС на начало 2024 г.

В Беларуси в 2024 г. количество интернет-пользователей сократилось на 39 тыс. (–0,5 %) по отношению к 2023-му и составило 8,48 млн чел. при общей численности 9,48 млн чел., а уровень проникновения интернета составил 89,5 %. Сокращение также наблюдается в Армении, России и Кыргызстане. В Казахстане число интернет-пользователей выросло на 196 тыс. чел. (+1,1 %), а уровень проникновения интернета на начало 2024 г. составил 92,3 % от общей численности населения (19,71 млн чел.).



Рис. 2. Прогноз роста количества интернет-пользователей до 2026 г.
(разработка автора на основе [8])

Fig. 2. Forecast of growth in the number of Internet users until 2026
(development by the author based on [8])

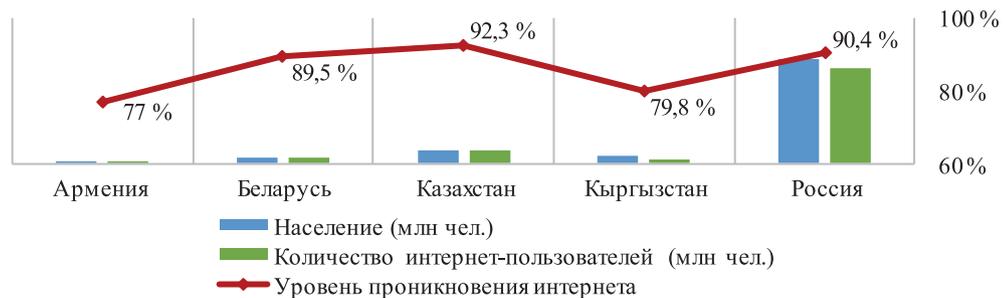


Рис. 3. Уровень проникновения интернета в государствах-членах ЕАЭС на начало 2024 г.
(разработка автора на основе [9])

Fig. 3. The level of Internet penetration in the EAEU member States at the beginning of 2024
(development by the author based on [9])

EdTech-сектор и перспективы его развития

Влияние макроэкономических факторов, стремительное внедрение цифровых технологий, проникновение интернета во всем мире, а также растущий спрос на квалифицированные кадры содействовали развитию рынка онлайн-образования (EdTech). Термин EdTech (от англ. Educational Technology – образовательные технологии) охватывает широкую область, относящуюся к комбинации инструментов информационных технологий и образовательных приложений, цель которых – продвижение образовательных услуг и свободный доступ к ним. Мировой рынок EdTech представляет собой индустрию образовательных технологий, занимающуюся разработкой инновационных решений, улучшающих качество обучения. Ожидается, что к 2029 г. рынок онлайн-образования достигнет 119,17 млрд долл. США, при этом среднегодовой темп роста составит 39,20 % в течение прогнозируемого периода (2024–2029 гг.) [10].

Структурные проблемы и очевидная потребность в цифровизации образования привели к тому, что в государствах-членах ЕАЭС внедряются решения EdTech – от обучающих приложений до платформ электронного обучения и программного обеспечения для управления. Гибкие форматы курсов, многочисленные программы сертификации и простота обучения по сравнению с очными курсами увеличивают спрос на данный сегмент обучения. Массовый открытый онлайн-курс – это тип открытого курса дистанционного обучения, основная идея которого сделать образование на университетском уровне доступным для всех с использованием платформ облачных вычислений. Объем рынка массового открытого онлайн-курса в 2024 г. оценивался в 22,80 млрд долл. (рис. 4).

Изучив отчеты аналитического агентства Smart Ranking, можно сделать вывод, что среди государств-членов ЕАЭС лидером является Россия с объемом рынка онлайн-образования

119,33 млрд руб. в 2023 г. (на 32 % больше, чем в 2022-м). Это связано, во-первых, с высоким уровнем инвестиций. Во-вторых, в России развитая телекоммуникационная инфраструктура, высокий уровень проникновения интернета, что упрощает доступ к образовательным платформам. В-третьих, государственная поддержка. Правительство активно финансирует такие программы, как «Цифровая экономика», национальный проект «Образование», в рамках которых идет активный процесс цифровизации в школах, вузах и иных образовательных учреждениях. В сентябре 2024 г. в России запущена единая государственная платформа онлайн-обучения информационных технологий для школьников и студентов. Также следует отметить, что Россия – крупнейшее по населению и экономике государство-член ЕАЭС, что делает ее рынок образовательных услуг масштабным и перспективным и способствует активному росту EdTech-сектора.

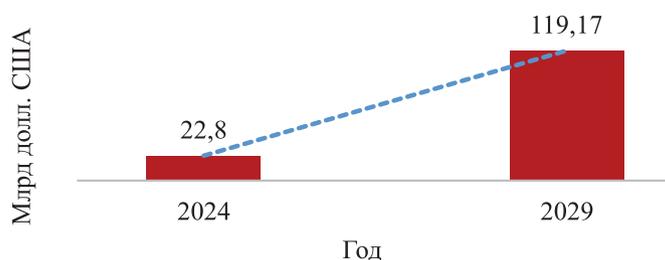


Рис. 4. Объем рынка рынка массового открытого онлайн-курса в прогнозируемом периоде 2024–2029 гг. (разработка автора на основе [10])

Fig. 4. Massive open online course market size in the forecast period 2024–2029 (development by the author based on [10])

Анализ факторов, влияющих на развитие цифрового обучения, можно представить как комплексную оценку с помощью корреляционно-регрессионного метода, который определяет степень тесноты взаимосвязи между двумя переменными с использованием коэффициента корреляции Пирсона r . При этом степень тесноты связи между ними оценивается по шкале английского статистика Чеддока: С – слабая от 0,1 до 0,3; У – умеренная от 0,3 до 0,5; З – заметная от 0,5 до 0,7; В – высокая от 0,7 до 0,9; ВС – весьма сильная от 0,9 до 1,0 [10]. Насколько сильна корреляция, определяется коэффициентом корреляции, который варьируется от (-1) до $(+1)$. Это означает, что корреляционный анализ можно использовать для определения силы и направления связи между двумя переменными. За основу расчетов были взяты следующие исходные данные, характеризующие развитие онлайн-обучения: объем рынка EdTech (млрд руб.), инвестиции в EdTech (млрд руб.), индекс цифровой грамотности (п. п.), уровень проникновения интернета (п. п.), ВВП на душу населения (текущие цены, руб.). Для этой нормализации использовались дисперсии двух задействованных переменных, а коэффициент корреляции определялся следующим образом:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где y – независимая переменная (в данном случае ВВП на душу населения, текущие цены, руб.); x – зависимая переменная (соответствующие показатели исследуемых факторов сегмента EdTech: объем рынка EdTech, инвестиции в EdTech, индекс цифровой грамотности, глобальный индекс инноваций, уровень проникновения интернета).

Таким образом, можно предложить систему количественных показателей, которые характеризуют факторы развития EdTech. Данный метод даст возможность определить степень влияния анализируемых факторов и количественных показателей в зависимости от значения корреляционной функции. Чем больше это значение, тем выше степень влияния изучаемого фактора и показателей (табл. 2).

Таблица 2. Характеристика влияния факторов на EdTech в России
Table 2. Characteristics of the influence of factors on EdTech in Russia

Показатель	Значение показателя по годам								Коэффициент корреляции R	Коэффициент детерминации R^2	Тип связи
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023			
ВВП на душу населения (текущие цены, руб.)	580916,03	621870,53	702627,73	741097,43	728860,20	922263,97	1057766,49	1176687,37			
Факторы, влияющие на ВВП на душу населения											
Объем рынка EdTech (млрд руб.)	20,70	20,00	30,00	35,00	54,00	73,00	87,80	119,33	0,9	0,9	BC
Инвестиции в EdTech (млрд руб.)	–	–	–	18,0	20,0	14,0	4,0	9,4	0,8	0,7	B
Индекс цифровой грамотности (п. п.)	–	–	–	52,0	58,0	64,0	71,0	71,0	0,9	0,8	B
Глобальный индекс инноваций	43,0	45,0	46,0	46,0	47,0	45,0	47,0	51,0	0,7	0,6	3
Уровень проникновения интернета (п. п.)	70,4	72,8	75,4	76,0	81,0	88,0	89,0	88,2	0,9	0,8	B
<i>Примечания</i>											
1. Регрессионно-корреляционный анализ проводится с помощью Excel [11].											
2. Шкала английского статистика Чеддока: BC – весьма сильная от 0,9 до 1,0; B – высокая от 0,7 до 0,9; 3 – заметная от 0,5 до 0,7.											
<i>Источник: разработка автора на основе [12–16].</i>											

На основании анализа, представленного в табл. 2 с учетом коэффициентов корреляции и детерминации, а также типа связи между выбранными факторами, которые оказывают влияние на ВВП на душу населения, можно сделать вывод о положительной взаимосвязи, что подтверждается высоким значением $R^2 = 0,9$. Также выявлено, что инвестиции в EdTech имеют умеренно высокую взаимосвязь, а индекс цифровой грамотности россиян – высокую положительную связь и оказывает существенное влияние на ВВП. Уровень проникновения интернета также говорит о достаточно сильном влиянии цифровизации на экономический рост. С меньшей силой связан ГИИ, во многом это объясняется мировыми изменениями в ГИИ.

Ключевые рыночные возможности онлайн-обучения заключаются в росте использования искусственного интеллекта и машинного обучения, положения которых закреплены в национальных концепциях государств-членов ЕАЭС, а их реализация создаст прибыльные возможности для рынка. Объем мирового рынка искусственного интеллекта в образовании в 2023 г. оценивался в 3,25 млрд долл. По оценкам экспертов, к 2032-му он достигнет 53,11 млрд долл., а среднегодовой темп роста составит 36,4 %. Для того, чтобы быть конкурентоспособными, государствам необходимо адаптироваться и принимать собственные цифровые концепции развития с общим видением высококачественного, инклюзивного и доступного цифрового образования в регионе. Реализация совместных цифровых инициатив ведет к росту ВВП (рис. 5).

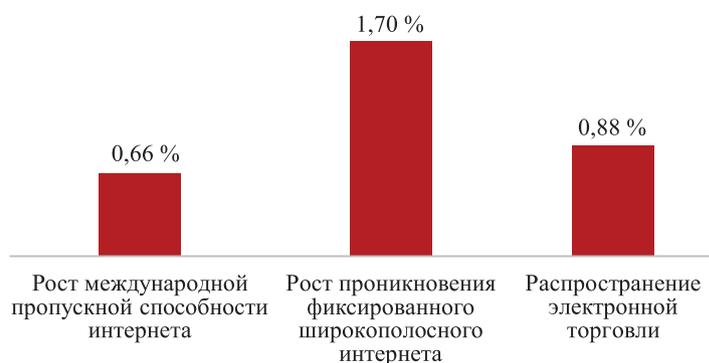


Рис. 5. Рост ВВП региона ЕАЭС за счет инициатив цифровизации в 2018–2025 гг.
(разработка автора на основе [17])

Fig. 5. GDP growth in the EAEU region due to digitalization initiatives in 2018–2025
(development by the author based on [17])

Рассматривая эффективность влияния цифровых инициатив на рост ВВП на евразийском пространстве до 2025 г., следует отметить важность проникновения фиксированного широкополосного интернета, которое составит 1,7 % к ВВП.

Заключение

1. В ходе регрессионно-корреляционного анализа выявлена положительная взаимосвязь некоторых факторов, влияющих на ВВП на душу населения. Уровень цифровой грамотности населения, расширение проникновения интернета, развитие инноваций, а также инвестиции и объем рынка EdTech приводят к росту производительности труда и ВВП на душу населения.

2. Анализ национальных концепций цифрового развития и цифровой потенциал государств-членов Евразийского экономического союза показывают, что создание цифрового евразийского образовательного пространства возможно при скоординированных действиях, направленных на внедрение передовых технологий, эволюцию онлайн-обучения и интернет-платформ. Целесообразно разработать систему, которая будет постоянно проводить сбор и обработку данных, автоматически формировать на их основе предиктивную аналитику, что позволит оперативно принимать управленческие решения.

Список литературы

1. Головенчик, Г. Г. Цифровая экономика [Электронный ресурс] / Г. Г. Головенчик. Минск: Белор. гос. ун-т, 2020.
2. Стратегия цифровизации Армении 2021–2025 гг. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arlis.am/DocumentView.aspx?DocID=149957>. Дата доступа: 14.10.2024.
3. Концепция развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100683>. Дата доступа: 14.10.2024.
4. Концепция цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023–2029 годы: утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 28 марта 2023 года № 269 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000269>. Дата доступа: 14.10.2024.
5. Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018–2040 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://mineconom.gov.kg/storage/directs/documents/209/15421950795bec078718fff.pdf>. Дата доступа: 14.10.2024.
6. Паспорт национального проекта «Образование» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minobrnauki.gov.ru>. Дата доступа: 14.10.2024.
7. Рейтинг стран по уровню глобализации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nonews.co/directory/lists/countries/globalization-index>. Дата доступа: 14.10.2024.
8. Мировой атлас данных. Образование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://knoema.ru/atlas/topics/Образование>. Дата доступа: 14.10.2024.
9. Новости. Исследования и аналитика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gtmarket.ru/>. Дата доступа: 14.10.2024.
10. Шандора, Н. Цифровизация системы здравоохранения: опыт и перспективы / Н. Шандора // Наука и инновации. 2020. №2. С. 38–43.
11. Образование. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/education>. Дата доступа: 14.10.2024.
12. World Population Prospects 2024 [Electronic Resource]. Mode of access: <https://population.un.org/wpp/>. Date of access: 14.10.2024.
13. Data and Analytics: Taking the Pulse of the Information Society [Electronic Resource]. Mode of access: <https://www.itu.int/itu-d/sites/statistics/>. Date of access: 14.10.2024.
14. Статистика интернета и соцсетей на 2023 год – цифры и тренды в мире и в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.web-canape.ru/business/statistika-interneta-i-socsetej-na-2023-god-cifry-i-trendy-v-mire-i-v-rossii/?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f. Дата доступа: 14.10.2024.
15. Анализ размера и доли рынка MOOC – тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/massive-open-online-course-mooc-market>. Дата доступа: 14.10.2024.
16. Индекс цифровой грамотности – 2023: в России стало немного больше людей с продвинутым уровнем цифровых компетенций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nafi.ru/analytics/v-rossii-vygosladya-lyudey-s-prodvinutym-urovнем-tsfrovoy-gramotnosti/#:~:text=%>. Дата доступа: 14.10.2024.

17. Цифровая повестка Евразийского экономического союза до 2025 года: перспективы и рекомендации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/413921522436739705/pdf/EAEU-Overview-Full-RUS-Final.pdf>. Дата доступа: 14.10.2024.

Поступила 15.11.2024

Принята в печать 28.01.2025

Доступна на сайте 10.04.2025

References

1. Golovenchik G. G. (2020) *Digital Economy*. Minsk, Belarusian State University (in Russian).
2. *Armenia's Digitalization Strategy 2021–2025*. Available: <https://www.arlis.am/DocumentView.aspx?DocID=149957> (Accessed 14 October 2024) (in Armenian).
3. *Concept of Development of the Education System of the Republic of Belarus until 2030*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100683> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
4. The Concept of Digital Transformation, Development of the Information and Communication Technology Industry and Cybersecurity for 2023–2029. *Approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated March 28, 2023 No 269*. Available: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000269> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
5. *National Development Strategy of the Kyrgyz Republic for 2018–2040*. Available: <https://mineconom.gov.kg/storage/directs/documents/209/15421950795bec078718fff.pdf> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
6. *Passport of the National Project "Education"*. Available: <https://www.minobrnauki.gov.ru> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
7. *Ranking of Countries by Level of Globalization*. Available: <https://nonews.co/directory/lists/countries/globalization-index> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
8. *The World Data Atlas. Education*. Available: <https://knoema.ru/atlas/topics/Образование> (Accessed 14 October 2024).
9. *News. Research and Analytics*. Available: <https://gtmarket.ru/> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
10. Sandora N. (2020) Digitalization of the Healthcare System: Experience and Prospects. *Science and Innovation*. (2), 38–43 (in Russian).
11. *Education. Federal State Statistics Service*. Available: <https://rosstat.gov.ru/statistics/education> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
12. *World Population Prospects 2024*. Available: <https://population.un.org/wpp> (Accessed 14 October 2024).
13. *Data and Analytics: Taking the Pulse of the Information Society*. Available: <https://www.itu.int/itu-d/sites/statistics/> (Accessed 14 October 2024).
14. *Internet and Social Media Statistics for 2023 – Figures and Trends in the World and in Russia*. Available: https://www.web-canape.ru/business/statistika-interneta-i-socsetej-na-2023-god-cifry-i-trendy-v-mire-i-v-rossii/?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
15. *MOOC Market Size and Share Analysis – Growth Trends and Forecasts (2024–2029)*. Available: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/massive-open-online-course-mooc-market> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
16. *Digital Literacy Index – 2023: Russia Has Slightly More People with Advanced Levels of Digital Competencies*. Available: <https://nafi.ru/analytics/v-rossii-vyros-la-dolya-lyudey-s-prodvinut-m-urov-nem-tsifrovoy-gramotnosti/#:~:text=%> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).
17. *Digital Agenda of the Eurasian Economic Union until 2025: Prospects and Recommendations*. Available: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/413921522436739705/pdf/EAEU-Overview-Full-RUS-Final.pdf> (Accessed 14 October 2024) (in Russian).

Received: 15 November 2024

Accepted: 28 January 2025

Available on the website: 10 April 2025

Сведения об авторе

Жданович О. В., асп. каф. международных экономических отношений, ст. преп. каф. евразийских исследований, Белорусский государственный университет

Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,
Минск, ул. Ленинградская, 20–515
Белорусский государственный университет
Тел.: +375 29 323-99-20
E-mail: Olga9920@gmail.com
Жданович Ольга Владимировна

Information about the author

Zhdanovich O. V., Postgraduate at the Department of International Economic Relations, Senior Lecturer at the Department of Eurasian Studies, Belarusian State University

Address for correspondence

220030, Republic of Belarus,
Minsk, Leningradskaya St., 20–515
Belarusian State University
Tel.: +375 29 323-99-20
E-mail: Olga9920@gmail.com
Zhdanovich Olga Vladimirovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-22-30>

УДК 316.472

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ МЕХАНИЗМ СИСТЕМНОГО ПРИВЛЕЧЕНИЯ НОВЫХ КЛИЕНТОВ В ИТ-КОМПАНИИ ЧЕРЕЗ СОЦИАЛЬНЫЕ СЕТИ

М. П. БАТУРА, И. В. МАРАХИНА, В. А. ПАРХИМЕНКО

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Проведены анализ и систематизация возможностей поиска и привлечения новых клиентов для ИТ-компаний через социальные сети. В качестве методологической базы исследования выступали классические подходы и методики, используемые в теории маркетинга. В частности, с помощью модели AIDA для каждого этапа процесса привлечения новых клиентов выделены задачи и методы маркетинга. На основе концепции воронки продаж для социальных сетей предложено дополнить рассмотрение процесса привлечения новых клиентов дополнительными этапами: лояльность и рекомендации. Контент-анализ литературных источников позволил систематизировать специфические характеристики ИТ-сферы, оказывающие влияние на процессы поиска, привлечения и работы с клиентами, а также выделить ключевые критерии позиционирования, которые используют ИТ-компании в своих маркетинговых стратегиях. Для исследования «жизненного цикла» клиентов и выявления основных движущих ими факторов рассмотрены возможности методики анализа «Путь клиента» (Customer journey). Результаты исследования обобщены в форме концепции организационного механизма, позволяющего системно подходить к привлечению новых клиентов за счет работы в социальных сетях. Входными данными механизма являются тип компании, тип клиента, алгоритм социальной сети. Механизм охватывает этапы работы, представленные в моделях AIDA и «Путь клиента», и использование SMM-методик, которые реализуются на каждом из выделенных этапов. Разработан шаблон мероприятий по привлечению новых клиентов в социальных сетях для ИТ-компаний.

Ключевые слова: социальная сеть, ИТ-компания, аккаунт, профиль, маркетинг, маркетинговые исследования, платформа, обратная связь, Customer journey, AIDA.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Батура, М. П. Организационный механизм системного привлечения новых клиентов в ИТ-компаниях через социальные сети / М. П. Батура, И. В. Марахина, В. А. Пархименко // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 22–30. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-22-30>.

ORGANIZATIONAL MECHANISM FOR SYSTEMICALLY ATTRACTING NEW CLIENTS TO IT COMPANY THROUGH SOCIAL NETWORKS

MIHAIL P. BATURA, INA V. MARAKHINA, ULADZIMIR A. PARKHIMENKO

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article analyzes and systematizes the possibilities of searching for and attracting new clients for IT companies through social networks. The methodological basis of the study is classical approaches and techniques used in marketing theory. In particular, using the AIDA model, marketing tasks and methods are identified for each stage of the process of attracting new clients. Based on the concept of the sales funnel for social networks, it is proposed to supplement the consideration of the process of attracting new clients with additional stages: loyalty and recommendations. Content analysis of literary sources made it possible to systematize the specific characteristics of the IT sphere that influence the processes of searching for, attracting and working with clients, as well as to identify the key positioning criteria that IT companies use in their marketing strategies. To study the “life cycle” of clients and identify the main driving factors, the possibilities of the “Customer journey” analysis technique are considered. The research results are summarized in the form of a concept of an organizational mecha-

nism that allows a systematic approach to attracting new clients through work in social networks. The input data of the mechanism are the type of company, the type of a client, the algorithm of a social network. The mechanism covers the stages of work presented in the AIDA and “Customer journey” models and the use of SMM methods that are implemented at each of the identified stages. A template for events to attract new clients in social networks for IT companies has been developed.

Keywords: social network, IT company, account, profile, marketing, marketing research, platform, feedback, Customer journey, AIDA.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko U. A. (2025) Organizational Mechanism for Systematically Attracting New Clients to IT Company Through Social Networks. *Digital Transformation*. 31 (1), 22–30. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-22-30> (in Russian).

Введение

Все большее число исследователей приходят к выводу о значимости социальных сетей в работе организаций. В [1, с. 117] Н. В. Рубцова и К. С. Солодухин указывают на возникновение новой формы экономических массовых коммуникаций – феномена социальной коммерции: «В настоящее время все больше компаний выбирают социальные сети для продвижения и продажи товаров и услуг, повышения их узнаваемости и популярности, осуществления коммуникаций с потенциальными клиентами в режиме реального времени». При этом при работе с аудиторией, в том числе и в социальных сетях, необходимо изучать новых клиентов компании отдельно, что определяется: их спецификой поведения (поисковой активностью); сравнением предложений; осторожностью и длительностью принятия решений при выборе; подверженностью влиянию мнений и рекомендаций; потребностью в поддержке и дополнительной информации; чувствительностью к ценам; недоверием к незнакомым брендам; отсутствием лояльности.

В современном мире информационные технологии (ИТ) играют ключевую роль в формировании и развитии экономики. В то же время в условиях высококонкурентного рынка и сложного продукта, предлагаемого ими, поиск новых клиентов для ИТ-продукта имеет решающее значение. В научной литературе следует отметить недостаток исследований, посвященных стратегиям привлечения новых клиентов в ИТ-сфере. Большинство научных публикаций по этому вопросу за последние годы – это в первую очередь исследования, затрагивающие отдельные сферы или внутренние процессы в организациях: управление рисками, проектами, цепочками поставок, туризмом, технологиями и инновациями, знаниями¹. Определенные рекомендации по данному вопросу, которые можно найти в материалах компаний, занимающихся консалтингом в области ИТ-услуг, остаются фрагментарными и не всегда обоснованными. Поэтому в статье проанализированы возможности привлечения новых клиентов с помощью социальных сетей. Актуальность такой деятельности обусловлена работой ИТ-компаний на глобальных рынках, необходимостью формирования их прогрессивного высокотехнологичного имиджа [2].

Модель AIDA и воронка продаж для социальных сетей

Клиенты ИТ-компаний представляют собой совокупность организаций и физических лиц, которые могут и имеют желание приобрести продукт (включая услуги ИТ-компаний). Следует отметить, что работа с новыми клиентами по сравнению с тем, кто совершает повторную покупку, согласно теоретическим основам маркетинга, имеет ряд особенностей и требует больше усилий и затрат со стороны организации.

Используя модель AIDA, можно исследовать процесс привлечения новых клиентов при помощи социальных сетей. AIDA (Внимание, Интерес, Желание, Действие) – это классическая маркетинговая модель, которая помогает понять, как привлекать и удерживать клиентов. В то же время следует отметить недостаточную системность и охват возможностей для достижения целей привлечения клиентов в рассматриваемых в статье стратегиях. Для устранения выявленных недостатков была разработана авторская модель AIDA для социальных сетей (табл. 1).

¹ Anugerah A. R., Muttaqin P. S., Trinarningsih W. (2024) Social Network Analysis in Business and Management Research: A Bibliometric Analysis of the Research Trend and Performance from 2001 to 2020. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022005588> (Accessed 1 October 2024).

Таблица 1. Модель AIDA для социальных сетей
Table 1. AIDA model for social media

Этап	Задача	Метод
Внимание	Привлечь внимание и соответствовать потребностям человека, нести выгоду, например, информацию, развлечения, экономию времени, общение и т. д.	Яркие визуалы и интригующие заголовки. Интересный контент (статьи, видео, инфографика), реклама в социальных сетях (таргетированная). Участие в популярных трендах и вызовах. Размещение у инфлюенсера
Интерес	Удерживать внимание и заинтересовать потенциального клиента	<p>Качественный контент: регулярная публикация интересного, своевременного и оригинального контента, который будет ценным для целевой аудитории. Это могут быть статьи, видео, инфографика и другие виды медиа. Полезным направлением является маркетинг привлечения².</p> <p>Ценностные предложения (стимулирование сбыта). Дополнительные скидки и подарки для подписчиков или при целевом действии.</p> <p>Использование визуальных элементов: яркие и красочные изображения, видео, анимации и графики, которые привлекают внимание и увеличивают вовлеченность.</p> <p>Актуальные темы. Важным является соответствие трендам и обсуждение актуальных событий.</p> <p>Вовлечение и взаимодействие с пользователями через опросы, викторины, вопросы и конкурсы, ответы на комментарии и личные сообщения.</p> <p>Призывы к действию, чтобы побудить пользователей к взаимодействию, например, попросить поделиться своим мнением, подписаться на рассылку или посмотреть другие публикации.</p> <p>Истории и трансляции. В зависимости от функционала социальных сетей можно создавать истории, прямые эфиры в реальном времени, чтобы делиться закулисными моментами, новостями и событиями, а также взаимодействовать с аудиторией и получать обратную связь.</p> <p>Сотрудничество с другими популярными аккаунтами и лидерами мнений.</p> <p>Регулярность публикаций контента и анонсы следующих выпусков.</p> <p>Геймификация, в том числе системы наград и уровней, которые поощряют активность и вовлеченность подписчиков.</p> <p>Обратная связь и учет интересов аудитории на основе анализа статистики, контент-анализа комментариев. Важно использовать эту информацию в постах-ответах, обосновании выбора темы и т. д.</p> <p>Эксклюзивный контент – закрытые мероприятия, ранний доступ к продуктам или специальные предложения.</p> <p>Юмор и мемы – как возможность дополнительной заинтересованности потенциальных клиентов.</p> <p>Сторителлинг: увлекательные истории, которые вызывают эмоции и удерживают внимание. Они могут рассказывать про сотрудников, истории клиентов, показывать обратную сторону работы и т. д.</p>
Желание	Вызвать желание приобрести товар или совершить другое целевое действие	<p>В зависимости от характера продукта могут быть использованы методы эмоциональной и рациональной вовлеченности, в том числе следующие:</p> <ul style="list-style-type: none"> – сторителлинг: например, как продукт может изменить жизнь пользователя; – обзоры, в которых показывают выгоды для потребителей, а также, как товар решает их проблемы или улучшает жизнь; – призывы, направленные на стимулирование сбыта, например, с указанием на ограниченность предложения, праздничные скидки, скидки для пользователей и т. д.; – социальное доказательство, в том числе в виде рейтингов, отзывов и кейсов довольных клиентов; – отзывы о продукте инфлюенсеров и блогеров – лидеров мнений для целевой аудитории

² Мятлов, М. Как найти новых клиентов? Маркетинг привлечения для бизнеса: методы поиска заказчиков, способы удержания клиентов [Электронный ресурс] / М. Мятлов // VC.RU. Режим доступа: <https://vc.ru/marketing/867652-kak-naйти-novyh-klientov-marketing-privlecheniya-dlya-biznesa-metody-poiska-zakazchikov-sposoby-uderzhaniya-klientov>. Дата доступа: 17.09.2024.

Окончание табл. 1
Ending of Tab. 1

Этап	Задача	Метод
Действие	Стимулировать потенциального клиента предпринять реальные действия по приобретению продукта	Активные призывы к действию в каждом посте, например, ссылка на сайт, предложение подписаться на рассылку или купить продукт. Использование методов стимулирования сбыта. Простой и упрощенный процесс совершения действия. Догоняющая таргетированная реклама, напоминания о брошенных корзинах. Поддержка клиентов через мессенджеры и взаимодействие в комментариях
<i>Источник:</i> собственная разработка.		

Более расширенный подход к анализу процесса привлечения клиентов представлен в воронке продаж. На основе ее концепции предложено дополнить рассмотрение процесса привлечения новых клиентов для социальных сетей дополнительными этапами: лояльность (Loyalty) и рекомендации (Advocacy). Эти этапы направлены на поддержку связи с клиентами после покупки и побуждение к положительным отзывам о бренде и покупках. Кроме того, возможны такие методы, как поощрение пользователей делиться своим опытом в социальных сетях, проведение конкурсов и акций за рекомендации, активная поддержка диалога в комментариях. Воронка продаж помогает не только привлекать новых клиентов, но и строить долгосрочные отношения с ними, что, в конечном итоге, способствует росту бизнеса.

Путь клиента для IT-компаний

Для каждой компании важно проанализировать клиентов и выявить основные движущие ими факторы. Одним из инструментов, который рекомендуют использовать для данных целей, является методика анализа «Путь клиента» (рис. 1, табл. 2).

ПУТЬ КЛИЕНТА				
				
Решение проверить свой уровень безопасности	Желание провести тест/аудит информационной безопасности	Поиск выгодного решения	Поиск эксперта с кейсами рекомендаций, с позиционированием в соответствии с потребностью клиента	Удовлетворить потребность с минимальными ресурсами и рисками
Нехватка ресурсов	Желание делегировать вопрос	Надежное решение		
Негативный опыт, вирусы и т. д.	Желание избежать негативного сценария			
...

Рис. 1. Методика анализа «Путь клиента» в услугах информационной безопасности
(источник: разработано на основе³)

Fig. 1. “Customer journey” analysis methodology in information security services (source: based on³)

³ Продвижение IT-компаний: почему реклама не работает [Электронный ресурс] // Completo. Режим доступа: <https://www.completo.ru/blog/articles/prodvizhenie-it-kompanii-pochemu-reklama-ne-rabotaet/>. Дата доступа: 17.09.2024.

Таблица 2. Методическая таблица (фрагмент) для работы согласно подходу «Путь клиента»
Table 2. Methodological table (fragment) for working according to the “Customer journey” approach

Этап	Стадия		
	Формирование потребности	Поиск решения	
Клиент	Формирование прямой потребности в услугах информационной безопасности (ИБ) может занять время. При этом компания находится в постоянных поисках возможностей для конкурентной борьбы, повышения эффективности работы и снижения рисков	Обращаются к тем, с кем уже работали. Обращаются к тем, кто уже на слуху. Мониторят рынок и обращаются в новые компании. Проводят тендер	...
Задача	Закрепиться у лиц, принимающих решения в качестве компании-эксперта на рынке в области ИБ и единственно верного варианта для решения проблемы/задачи клиента. Необходимо создать связку: все, что связано с ИБ = наша компания	Быть на слуху как для новых, так и уже ранее обращавшихся компаний. Попасть в поисковую выдачу для тех, кого не удалось убедить в экспертности на предыдущем этапе	...
Метод	Доказать экспертность и запомниться. Привлечь на сайт	Методы работы с теплым спросом. Привлечь на сайт	

Источник: разработано на основе³.

Сегментирование клиентов ИТ-компаний

Следует отметить, что ИТ-компании представляют собой разнородную группу, различающуюся по целевой аудитории, спектру услуг и другим важным характеристикам. В [3–5] приведены различные их классификации. Такая разнородность ИТ-компаний должна учитываться при маркетинговой деятельности, в том числе при продвижении в социальных сетях. Специфика маркетинговой деятельности компаний, функционирующих в ИТ-сфере, «в значительной степени определяется спецификой отраслевой принадлежности клиента и выбранной бизнес-моделью» [6, с. 47]. Говоря о маркетинге в ИТ-сфере, необходимо понимать, что содержание, задачи и, как следствие, роль маркетинга в компаниях, занимающихся ИТ-аутсорсингом, существенно отличаются от тех задач, которые подразумевают маркетинг в компании, ведущей разработку собственного программного продукта [7]. Так, например, в [3], описывая сервисную и продуктовую модель, исследователи указывают на радикальные различия с точки зрения маркетинга: в первом случае речь идет о поиске клиента, его маркетинговой «обработке», заключении с ним договора на оказание услуг и последующем осуществлении непосредственного обслуживания, во втором – создание программного обеспечения подразумевается еще до появления первых клиентов, а все процессы по маркетингу и активным продажам «запускаются» уже после разработки программного продукта.

Учитывая множество классификаций, предлагается в качестве базового выбрать подход к сегментированию новых клиентов на основе используемых моделей и видов клиентов (табл. 3). Дальнейшее сегментирование и введение нового критерия (например, сферы деятельности клиента⁴) уточнят предложенный механизм привлечения новых клиентов в социальных сетях.

Таблица 3. Сегментирование клиентов ИТ-компаний
Table 3. Segmentation of IT company clients

Вид клиента	Модель		
	продуктовая	сервисная (не включая аутсорсинг)	аутсорсинговая
B2C	+		
B2B	+	+	+
B2G	+	+	+

Обозначение: «+» – активный сегмент.
Источник: собственная разработка.

⁴ European IT Spending and Staffing Benchmarks 2023/2024. *Avasant*. Available: <https://avasant.com/report/european-it-spending-and-staffing-benchmarks-2023-2024-chapter-1-executive-summary/> (Accessed 1 October 2024).

Организационный системный механизм привлечения новых клиентов в социальных сетях

Теоретические основы работы IT-сектора в социальных сетях представляют собой многогранную тему, в которой взаимодействуют технологии, социальные структуры и поведение пользователей. Несмотря на роль и нарастающую значимость социальных сетей (особенно в IT-сфере), в существующих исследованиях недостаточно внимания уделяется разработке универсальных рекомендаций для компаний, работающих в такой сфере. Это создает определенные пробелы в понимании того, как можно оптимизировать процессы взаимодействия с пользователями и повысить эффективность маркетинга через социальные платформы. Следует отметить, что отдельные наработки, например [8, 9], связаны с исследованием вопросов развития бренда работодателя и привлечением работников через социальные сети. При этом фокус в таких исследованиях приходится именно на формирование брендинга работодателя. Разработка механизма привлечения новых клиентов в социальных сетях имеет ключевое значение для успеха современных компаний, особенно в условиях динамичной бизнес-среды и интенсивной конкуренции.

В рамках данной статьи под механизмом будем понимать совокупность способов управления и взаимодействия субъектов, целевыми функциями которого являются рациональное хозяйствование и формирование устойчивых закономерностей в развитии экономики [10]. Входные данные, оказывающие влияние на работу и эффективность механизма, – это тип компании, тип клиента, алгоритм социальной сети. В зависимости от выбранных параметров меняются используемые методики и элементы в механизме. Следует отметить, что такой механизм подходит для различных типов клиентов (табл. 3). В то же время в зависимости от выбранного сегмента реализуемые внутри механизма методики и исполнители будут меняться, не затрагивая основные сущностные особенности, представленные в механизме.

Механизм охватывает этапы работы, представленные в рассмотренных выше моделях AIDA и «Путь клиента». Несмотря на их схожесть, каждый из этапов раскрывает особые возможности, поэтому было решено использовать обе модели. Мотор или движущие силы механизма – это сочетание управления и SMM-методик, которые реализуются на каждом из выделенных этапов. Следует отметить несколько уровней SMM: стратегический, включающий планирование; операционный, включающий операционные мероприятия и контроль; управление персоналом, определяющий исполнителей в каждом случае. Благодаря проведенному анализу разработан организационный механизм, позволяющий системно привлекать новых клиентов за счет работы в социальных сетях (рис. 2).

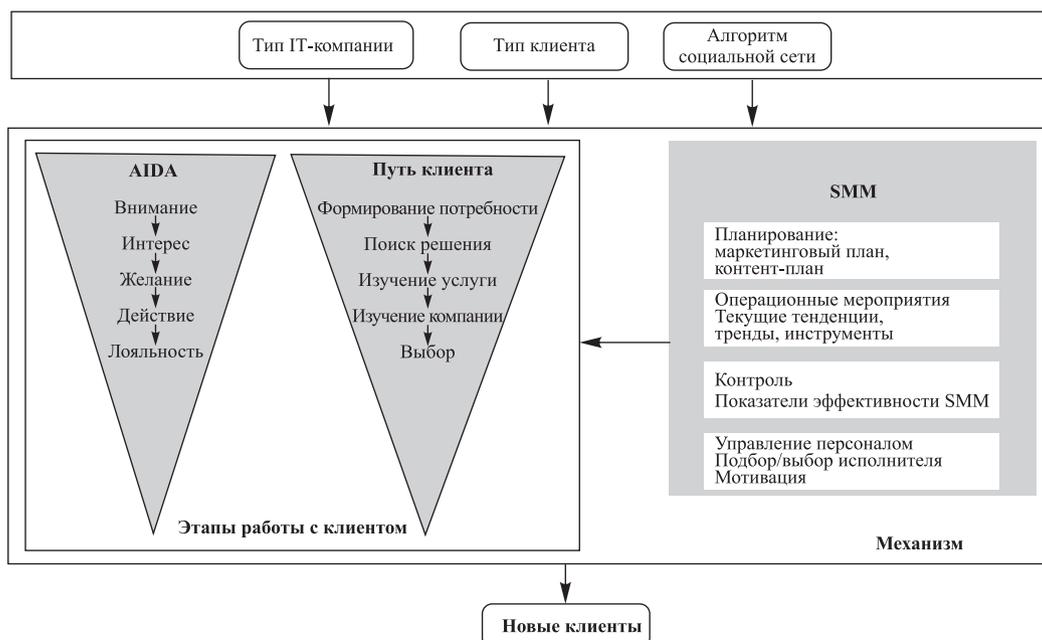


Рис. 2. Механизм привлечения новых клиентов в социальных сетях для IT-компаний
(источник: собственная разработка)

Fig. 2. Mechanism for attracting new clients in social networks for IT companies (source: own development)

Для эффективной работы с механизмом был создан шаблон мероприятий, позволяющий систематизировать работу по привлечению новых клиентов (табл. 4). Дальнейшее развитие механизма предполагает наполнение предложенного в табл. 4 шаблона в зависимости от входных данных.

Таблица 4. Шаблон мероприятий по привлечению новых клиентов в социальных сетях для IT-компаний
Table 4. Social Media Outreach Event Template for IT Companies

Этап	Планирование	Операционное мероприятие	Контроль	Управление персоналом
Мероприятия на всех этапах	Постановка целей. Исследование среды организации и текущего положения самой организации (анализ конкурентов, целевой аудитории, потенциальных партнеров, лидеров мнений, каналов привлечения пользователей, изменения и тенденций рынка, подходов к коммуникации с подписчиками). Разработка стратегии продвижения и плана. Определение KPI. Разработка контент-плана, включая рубрики, визуал, стиль, нестандартные методики. Разработка пакета креативов. Разработка маркетингового плана	Выбор используемых инструментов маркетинга. Анализ новых трендов. Реализация контент-плана. Реклама и продвижение. Настройка обратной связи. Учет аналитики и внесение корректив	Определение системы показателей. Оценка конечных и промежуточных показателей. Подготовка отчета. Контроль	Подбор и выбор исполнителя. Аутсорсинг. Распределение задач. Мотивация, разработка системы показателей KPI исполнителей
AIDA				
Внимание				
Интерес				
Желание				
Действие				
Лояльность				
«Путь клиента»				
Формирование потребности				
Поиск решения				
Изучение услуги				
Изучение компании				
Выбор				
<i>Источник:</i> авторская разработка с использованием ⁵ .				

Следует отметить, что представленный механизм является уникальной разработкой – о наличии схожих исследований авторам неизвестно. Он позволяет систематизировать и объединить имеющиеся фрагментарные наработки в области привлечения клиентов – с одной стороны и социальных сетей – с другой. Кроме того, механизм предлагает эффективное решение для привлечения клиентов, учитывающее как особенности работы с клиентами, так и особенности социальных сетей. Его реализация в совокупности с предложенными в статье моделью AIDA для социальных сетей и шаблоном мероприятий представляет собой алгоритм для работы IT-компаний по привлечению новых клиентов. В то же время эффективное использование механизма предполагается при уточнении его методиками, исполнителями, инструкциями.

Заключение

1. Представлены методические основы привлечения новых клиентов в социальных сетях (на примере IT-сектора):

⁵ SMM для IT [Электронный ресурс] // Интегрис. Режим доступа: <https://integrus.ru/blog/internet-marketing-decisions/smm-dlya-it.html>. Дата доступа: 17.09.2024.

- систематизированы возможности поиска и привлечения новых клиентов для IT-компаний через социальные сети с использованием классических подходов и методик, применяемых в теории маркетинга: модели AIDA, воронки продаж для социальных сетей, модели «Путь клиента»;
- с учетом разнородности IT-сферы предложен подход к сегментированию новых клиентов на основе используемых моделей и видов клиентов;
- разработана концепция организационного механизма привлечения новых клиентов в социальных сетях для IT-компаний;
- создан шаблон мероприятий по привлечению новых клиентов в социальных сетях для IT-компаний.

2. Предлагаемые методические основы целесообразно внедрить в учебные дисциплины по цифровому маркетингу и маркетингу программных продуктов и IT-услуг. Рассмотренный механизм, а также методические основы анализа социальных сетей могут быть использованы организациями IT-сферы в практической деятельности для повышения эффективности работы по привлечению клиентов. Механизм предполагает дальнейшую исследовательскую работу, определяемую специфичностью и многовариантностью элементов, представленных в нем.

3. Для уточнения механизма и выявления наиболее оптимальных возможностей по реализации деятельности компаний IT-сферы в социальных сетях необходимо продолжить научно-исследовательские работы, направленные на:

- разработку методики выбора социальной сети в зависимости от характеристик организации и выбранного сегмента рынка;
- анализ алгоритмов социальных сетей и выявление факторов, влияющих на продвижение компании;
- реализацию механизма в зависимости от сегмента организации (клиента), уточнение его конкретными методиками, позволяющее повысить эффективность SMM;
- разработку методики выбора и расчета системы показателей эффективности работы организаций IT-сферы в социальных сетях.

Список литературы

1. Рубцова, Н. В. Социальная коммерция как форма экономических массовых коммуникаций / Н. В. Рубцова, К. С. Солодухин. // Вопросы теории и практики журналистики. 2022. Т. 11, № 1. С. 114–128.
2. Батура, М. П. К вопросу об эффективности и необходимости продвижения IT-компаний в социальных сетях / М. П. Батура, И. В. Марахина, В. А. Пархименко // Информационные технологии и системы 2024: матер. Междунар. науч. конф., г. Минск, 20 нояб. 2024 г. Минск: Белор. гос. ун-т информ. и радиоэлек., 2024. С. 205–206.
3. Пархименко, В. А. Маркетинг информационных технологий: особенности и инструменты / В. А. Пархименко, В. М. Стреж, М. Н. Бондаренко // Маркетинг в России и за рубежом. 2012. № 5. С. 72–85.
4. Сафронова, А. А. Современные тенденции развития отрасли информационных технологий / А. А. Сафронова // Транспортное дело России. 2013. № 4. С. 94–95.
5. Попов, М. С. Особенности управления высокотехнологичными информационными компаниями / М. С. Попов // Менеджмент в России и за рубежом. 2001. № 4. С. 56–61.
6. Соколова, Е. С. Особенности маркетинговой деятельности IT-компаний / Е. С. Соколова // BENEFICIUM. 2019. № 2. С. 47–56.
7. Стреж, В. М. Маркетинговые роли в IT-компаниях / В. М. Стреж, В. А. Пархименко, М. Н. Бондаренко // Маркетинг в России и за рубежом. 2013. № 1. С. 107–114.
8. Чумов, Д. К. Использование социальных сетей как инструмента продвижения бренда работодателя в российских IT-компаниях / Д. К. Чумов // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 24. С. 252–256.
9. Sivertzen, A. Employer Attractiveness and the Use of Social Media / A. Sivertzen, E. Nilsen, A. Olafsen // Journal of Product & Brand Management. 2013. Vol. 22, No 7. P. 473–483.
10. Бычкова, А. Н. Экономический механизм: определение, классификация и применение / А. Н. Бычкова // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2010. № 4. С. 37–43.

References

1. Rubtsova N. V., Solodukhin K. S. (2022) Social Commerce as a Form of Economic Mass Communications. *Issues of Theory and Practice of Journalism*. 11 (1), 114–128 (in Russian).
2. Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko V. A. (2024) On the Efficiency and Necessity of Promoting IT Companies in Social Networks. *Information Technologies and Systems 2024, Proceedings of the International Scientific Conference, Minsk, Nov. 20*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 205–206 (in Russian).
3. Parkhimenko V. A., Strezh V. M., Bondarenko M. N. (2012) Marketing of Information Technologies: Features and Tools. *Marketing in Russia and Abroad*. (5), 72–85 (in Russian).
4. Safronova A. A. (2013) Modern Trends in the Development of the Information Technology Industry. *Transport Business of Russia*. (4), 94–95 (in Russian).
5. Popov M. S. (2001) Features of Managing High-Tech Information Companies. *Management in Russia and Abroad*. (4), 56–61 (in Russian).
6. Sokolova E. S. (2019) Features of Marketing Activities of IT Companies. *BENEFICIUM*. (2), 47–56 (in Russian).
7. Strezh V. M., Parkhimenko V. A., Bondarenko M. N. (2013) Marketing Roles in an IT Company. *Marketing in Russia and Abroad*. (1), 107–114 (in Russian).
8. Chumov D. K. (2020) Using Social Networks as a Tool for Promoting Employer Brands in Russian IT Companies. *Innovations. Science. Education*. (24), 252–256 (in Russian).
9. Sivertzen A., Nilsen E., Olafsen A. (2013) Employer Attractiveness and the Use of Social Media. *Journal of Product & Brand Management*. 22 (7), 473–483.
10. Bychkova A. N. (2010) Economic Mechanism: Definition, Classification, and Application. *Bulletin of Omsk University. Series "Economics"*. (4), 37–43 (in Russian).

Received: 14 January 2025

Accepted: 19 February 2025

Available on the website: 10 April 2025

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Батура М. П., д-р техн. наук, проф., зав. науч.-исслед. лабораторией «Новые обучающие технологии», Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Марахина И. В., канд. экон. наук, доц., доц. каф. экономики, БГУИР

Пархименко В. А., канд. экон. наук, доц., зав. каф. экономики, БГУИР

Адрес для корреспонденции

220005, Республика Беларусь,
Минск, ул. Платонова, 39–809
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 29 380-59-99
E-mail: inamarahina@gmail.com
Марахина Инна Викторовна

Information about the authors

Batura M. P., Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the R&D Lab "New Educational Technologies", Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

Marakhina I. V., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor at the Economics Department, BSUIR

Parkhimenko V. A., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Economics Department, BSUIR

Address for correspondence

220005, Republic of Belarus,
Minsk, Platonova St., 39–809
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 29 380-59-99
E-mail: inamarahina@gmail.com
Marakhina Ina Victorovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-31-41>

УДК 331.108.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕКУЧЕСТИ КАДРОВ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ

А. Н. КОЗИНЕЦ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Исследовано применение методов машинного обучения для прогнозирования текучести кадров в организациях с использованием открытых данных. Проведен анализ существующих подходов к прогнозированию текучести персонала, обоснована необходимость использования современных алгоритмов машинного обучения. На базе открытого набора данных разработана модель, позволяющая с высокой точностью определять вероятность увольнения сотрудников. Результаты исследования демонстрируют практическую значимость предлагаемого подхода и могут быть использованы для повышения эффективности управления человеческими ресурсами в организациях. Представлены формальные описания и архитектура применяемых моделей машинного обучения, что обеспечивает прозрачность и воспроизводимость рассматриваемого подхода.

Ключевые слова: текучесть кадров, машинное обучение, прогнозирование, управление человеческими ресурсами, открытые данные, HR-аналитика.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Козинец, А. Н. Применение методов машинного обучения для прогнозирования текучести кадров на основе открытых данных / А. Н. Козинец // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 31–41. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-31-41>.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR EMPLOYEE TURNOVER PREDICTION BASED ON OPEN DATA

ALIAKSANDR N. KAZINETS

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The application of machine learning methods for predicting staff turnover in organizations using open data is studied. An analysis of existing approaches to predicting staff turnover is conducted, the need to use modern machine learning algorithms is substantiated. Based on an open data set, a model is developed that allows for a high-precision determination of the probability of employee dismissal. The results of the study demonstrate the practical significance of the proposed approach and can be used to improve the efficiency of human resource management in organizations. Formal descriptions and architecture of the applied machine learning models are presented, which ensures the transparency and reproducibility of the approach under consideration.

Keywords: employee turnover, machine learning, prediction, human resource management, open data, HR analytics.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Kazinets A. N. (2025) Application of Machine Learning Methods for Employee Turnover Prediction Based on Open Data. *Digital Transformation*. 31 (1), 31–41. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-31-41> (in Russian).

Введение

В условиях активной цифровой трансформации экономики и стремительного роста объемов доступных данных эффективное управление человеческими ресурсами становится стратегически важным фактором обеспечения конкурентоспособности и устойчивого развития организаций. Человеческий капитал рассматривается как ключевой ресурс, определяющий инновационный потенциал, гибкость и адаптивность предприятия к динамично изменяющейся рыночной среде. Однако текучесть кадров по-прежнему остается одной из наиболее острых и затратных проблем, вызывая существенные финансовые потери, снижение производительности, утрату накопленного опыта и ослабление корпоративной культуры.

Традиционные подходы к прогнозированию текучести, основанные главным образом на статистических методах и экспертных оценках, не учитывают многомерную природу и нелинейные зависимости факторов, влияющих на решение сотрудника об увольнении. Это создает потребность в более продвинутых методах анализа и прогнозирования, способных обрабатывать крупномасштабные и разнородные данные, а также выявлять скрытые закономерности в поведении персонала [1].

Современные методы машинного обучения, опирающиеся на алгоритмы искусственного интеллекта и анализ больших данных, открывают новые возможности для повышения точности прогнозов, выявления наиболее значимых факторов текучести и проактивного управления кадровыми ресурсами. Применение таких методов в HR-аналитике позволяет организациям своевременно определять сотрудников с высоким риском увольнения, разрабатывать адресные стратегии удержания и повышать эффективность HR-процессов.

Цель исследования – разработка и эмпирическая проверка модели прогнозирования текучести кадров с использованием методов машинного обучения на основе открытых данных. Для ее достижения необходимо:

- проанализировать существующие подходы к прогнозированию текучести и определить их ограничения;
- обосновать выбор наиболее результативных алгоритмов машинного обучения;
- обучить и протестировать разработанные модели на открытом наборе данных;
- интерпретировать результаты с позиций практического использования в управлении человеческими ресурсами.

Научная новизна исследования заключается в интеграции передовых алгоритмов машинного обучения для решения задачи прогнозирования текучести, позволяя учесть сложные многомерные и нелинейные зависимости. Применение открытых данных обеспечивает воспроизводимость и прозрачность результатов, соответствующих принципам современной научной методологии, и дает возможность другим исследователям верифицировать и развивать предложенный подход. Практическая значимость состоит во внедрении разработанной модели в практику управления персоналом, что позволит снизить уровень текучести, оптимизировать затраты, повысить устойчивость и конкурентоспособность организации. В статье представлено описание архитектуры и принципов функционирования используемых моделей машинного обучения (логистической регрессии, случайного леса, XGBoost), обеспечивающее концептуальную ясность и воспроизводимость методологии, а также формирующее основу для ее дальнейшего совершенствования и расширения.

Анализ существующих подходов к прогнозированию текучести кадров

Текучесть кадров представляет собой сложный и многогранный феномен, оказывающий существенное влияние на эффективность и устойчивость организаций. Она приводит к значительным прямым и косвенным издержкам, способным подорвать конкурентоспособность предприятия и его позиции на рынке. Прямые издержки включают расходы на рекрутинг, отбор и адаптацию новых сотрудников, такие как размещение вакансий, проведение собеседований и обучение персонала. Косвенные издержки проявляются в снижении производительности труда вследствие утраты накопленного опыта и знаний, нарушении рабочих процессов, ухудшении морально-психологического климата и снижении удовлетворенности оставшихся сотрудников.

Традиционные методы прогнозирования текучести кадров, основанные на статистическом анализе исторических данных и экспертных оценках, часто опираются на субъективные мнения

и ограниченный набор параметров. Эти методы обычно применяют линейные модели и предполагают независимость факторов, что не позволяет учитывать сложные и нелинейные взаимосвязи между переменными, влияющими на решение сотрудника об увольнении. Кроме того, они неэффективны при обработке больших объемов данных и недостаточно адаптивны к быстро меняющимся условиям внешней и внутренней среды организации.

В условиях усложнения управленческих задач и увеличения доступности данных становится необходимым внедрение современных методов анализа, способных выявлять скрытые закономерности в многомерных данных. Машинное обучение, являясь важным направлением искусственного интеллекта, предлагает широкий спектр алгоритмов и инструментов для обработки больших данных, обнаружения нелинейных зависимостей и прогнозирования сложных явлений. В сфере HR-аналитики методы машинного обучения позволяют разрабатывать модели, которые точно прогнозируют вероятность увольнения сотрудников, оценивают их потенциал и оптимизируют процессы подбора и развития персонала.

Применение машинного обучения в прогнозировании текучести кадров открывает новые возможности для проактивного управления человеческими ресурсами. Например, алгоритмы классификации могут сегментировать сотрудников по уровню риска увольнения, а методы регрессии и кластеризации – выявлять ключевые факторы текучести и разрабатывать индивидуализированные стратегии удержания. Кроме того, модели машинного обучения способны постоянно улучшаться с накоплением новых данных, повышая свою адаптивность и актуальность в условиях динамичной среды.

Важным аспектом современного исследования является использование открытых данных, которые позволяют проводить масштабные и репрезентативные исследования без затратных процессов сбора собственных данных. Открытые данные способствуют развитию открытой науки, повышению прозрачности и воспроизводимости исследований. Однако работа с такими данными требует внимания к их качеству, релевантности и соблюдения этических норм, включая конфиденциальность и защиту персональных данных. Использование открытых данных в прогнозировании текучести кадров позволяет исследователям применять и сравнивать различные модели и подходы, что способствует обобщению знаний и разработке более универсальных решений. Тем не менее необходимо учитывать ограничения, связанные со спецификой отраслей, культурными особенностями и актуальностью данных, что требует тщательного анализа и корректной интерпретации результатов.

Таким образом, анализ существующих подходов к прогнозированию текучести кадров демонстрирует, что традиционные методы имеют существенные ограничения и не соответствуют современным требованиям эффективного управления человеческими ресурсами. Применение методов машинного обучения в сочетании с использованием открытых данных представляет собой перспективное направление, способное значительно повысить точность прогнозирования и предоставить организациям инструменты для принятия обоснованных решений в сфере HR-менеджмента.

Методология исследования

В исследовании для разработки модели прогнозирования текучести кадров с использованием методов машинного обучения применялся открытый набор данных HR Analytics Employee Attrition & Performance, доступный на платформе Kaggle [2]. Этот набор включает информацию о 1470 сотрудниках, охватывая такие параметры, как демографические характеристики, профессиональные показатели, уровни удовлетворенности и производительности, а также факт увольнения. В совокупности предусмотрено 35 признаков, среди которых целевой переменной выступает Attrition (Yes/No) (табл. 1).

Таблица 1. Основные характеристики набора данных
Table 1. Main characteristics of the dataset

Параметр	Описание
Количество записей	1470
Количество признаков	35
Целевая переменная	Attrition (факт увольнения: Yes/No)

Набор данных характеризуется разнообразием признаков, включающих:

- демографические данные: возраст, пол, семейное положение, уровень образования;
- профессиональные данные: должность, отдел, стаж работы;
- показатели удовлетворенности: удовлетворенность работой, взаимоотношения в коллективе;
- показатели производительности: количество проектов, количество часов переработки.

Качественная предварительная обработка данных является критически важным этапом построения модели машинного обучения, поскольку качество входных данных напрямую влияет на точность и надежность модели. Этапы обработки данных включали следующие шаги:

1) анализ пропущенных значений: в этом наборе данных отсутствуют пропущенные значения, что исключает необходимость проведения импутации или удаления записей;

2) кодирование категориальных признаков: Label Encoding применялся ко всем категориальным признакам (например, Gender, Department, JobRole, EducationField), преобразуя категории в числовые значения (0 и 1 или более);

3) нормализацию числовых признаков: проводилась стандартизация (StandardScaler) для обеспечения сопоставимости масштабов признаков и ускорения сходимости алгоритмов.

Для решения задачи бинарной классификации и повышения точности прогнозирования были выбраны следующие алгоритмы машинного обучения, зарекомендовавшие себя в области HR-аналитики [3]:

– логистическая регрессия: простая и интерпретируемая модель с низкими вычислительными затратами, однако ограниченная линейностью;

– случайный лес (Random Forest): ансамблевый метод, устойчивый к переобучению, способный моделировать сложные нелинейные зависимости и оценивать важность признаков;

– градиентный бустинг (XGBoost): высокопроизводительный алгоритм, оптимизированный для скорости и точности, с гибкими настройками гиперпараметров.

Процесс машинного обучения был реализован на языке Python с использованием библиотек Scikit-learn и XGBoost и включал следующие этапы.

1. Предварительная обработка данных:

– кодирование категориальных переменных с помощью LabelEncoder;

– масштабирование числовых признаков с использованием StandardScaler;

– разделение выборки на обучающую (80 %) и тестовую (20 %) с фиксированным параметром `random_state=42` для воспроизводимости результатов.

2. Обучение моделей:

– логистическая регрессия с параметром `max_iter=1000`;

– Random Forest с базовыми параметрами;

– XGBoost с отключенным LabelEncoder и метрикой `logloss`.

3. Оценка качества моделей:

– расчет метрик: `accuracy`, `precision`, `recall`, `f1_score`;

– анализ важности признаков на основе модели Random Forest.

Набор данных был разделен на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80:20 с использованием функции `train_test_split` из библиотеки Scikit-learn, что позволило оценить обобщающую способность моделей на новых данных. Для оценки эффективности моделей использовались следующие метрики:

– `accuracy` (точность): доля правильно классифицированных наблюдений;

– `precision` (точность позитивного прогноза): доля правильно предсказанных положительных случаев;

– `recall` (полнота): доля правильно предсказанных положительных случаев из всех фактических;

– `f1 score`: гармоническое среднее между `precision` и `recall`, особенно полезное при несбалансированных данных [3].

Для учета многомерности и нелинейности данных применялись:

– Random Forest, способный автоматически учитывать нелинейные взаимодействия между признаками через построение множества деревьев решений;

– XGBoost, использующий градиентный бустинг для моделирования сложных зависимостей;

– стандартизация признаков (StandardScaler) для обеспечения корректной работы с многомерными данными.

Для каждой модели были настроены ключевые гиперпараметры [4, 5]:

- логистическая регрессия: регуляризация (C), функция потерь;
- случайный лес: количество деревьев (n_estimators), максимальная глубина (max_depth), количество признаков для разбиения (max_features);
- XGBoost: скорость обучения (learning_rate), максимальная глубина (max_depth), количество деревьев (n_estimators), параметр регуляризации (gamma).

Используемые инструменты и библиотеки на языке Python включают:

- Pandas и NumPy: для обработки и анализа данных;
- Scikit-learn: для реализации алгоритмов машинного обучения, предобработки данных, настройки гиперпараметров и оценки моделей;
- XGBoost: для реализации градиентного бустинга;
- Matplotlib и Seaborn: для визуализации данных и результатов анализа.

Особое внимание уделялось конфиденциальности и соблюдению этических норм при работе с данными. Использование открытого набора данных, предназначенного для исследовательских целей, обеспечивает соблюдение требований конфиденциальности и защиту персональных данных сотрудников.

Примененная методология сочетает передовые практики обработки данных и машинного обучения, что обеспечивает получение надежных и интерпретируемых результатов. Такой подход гарантирует высокую точность прогнозирования и практическую применимость разработанных моделей в управлении человеческими ресурсами. В целях обеспечения прозрачности и воспроизводимости в статье приводится формальное описание применяемых моделей машинного обучения, включая их математические основы и архитектуру. Это позволит более полно понять принципы функционирования рассмотренных алгоритмов до перехода к анализу результатов их применения.

Описание моделей

Под разработанными моделями подразумеваются конкретные, обученные на реальных данных алгоритмы машинного обучения, сконфигурированные для решения задачи прогнозирования текучести кадров. Каждая модель представляет собой формализованную математическую конструкцию (классификатор), которая по входным характеристикам сотрудника оценивает вероятность его увольнения.

Прогнозирование текучести кадров сводится к задаче бинарной классификации. Пусть $X \in R^n$ – вектор признаков, описывающих отдельного сотрудника. Эти признаки могут включать демографические данные (возраст, пол), характеристики занятости (должность, стаж), показатели удовлетворенности (оценка рабочего климата, отношение к переработкам), а также параметры компенсационной политики (месячный доход, почасовые ставки). Целевая переменная $y \in \{0, 1\}$ указывает факт увольнения: $y = 1$ – если сотрудник ушел из организации, $y = 0$ – если он остался. Цель модели – оценить вероятность $P(y = 1 | X)$.

На вход модели подается вектор признаков X , прошедший этапы предобработки (масштабирование, кодирование категориальных переменных). Результатом работы модели является численное значение вероятности увольнения. Если эта вероятность превышает некоторый порог (обычно 0,5), модель классифицирует сотрудника как имеющего высокий риск увольнения. Данный подход позволяет на основе открытых данных о сотрудниках выявлять «уязвимые» группы персонала и предпринимать превентивные меры по удержанию ключевых специалистов. Логистическая регрессия — классический линейный классификатор, предполагающий, что логарифм отношения шансов увольнения к удержанию является линейной комбинацией признаков. Формально

$$\log it(P(y = 1 | X)) = w_0 + \sum_{i=1}^n w_i x_i,$$

где w_i – параметр модели.

Вероятность увольнения определяется через логистическую функцию

$$P(y = 1 | X) = \frac{1}{1 + e^{-\left(w_0 + \sum_{i=1}^n w_i x_i\right)}}$$

Логистическая регрессия легко интерпретируется: знаки и значения коэффициентов w_i указывают направление и степень влияния соответствующего признака на вероятность увольнения. Это делает модель удобной для первичной аналитики, позволяя HR-специалистам понять, какие факторы сильнее всего воздействуют на риск текучести.

Случайный лес – ансамблевый метод, представляющий собой совокупность M деревьев решений. Каждое дерево обучается на случайной подвыборке исходных данных и случайном подмножестве признаков, что снижает коррелированность деревьев и уменьшает риск переобучения. Предсказание ансамбля получается путем голосования

$$\hat{y} = \operatorname{argmax}_{c \in \{0,1\}} \sum_{k=1}^M I(\hat{y}_k = c),$$

где \hat{y}_k – предсказание модели; $I(\cdot)$ – индикаторная функция.

Случайный лес способен улавливать сложные нелинейные закономерности и, что особенно важно для анализа текучести, предоставляет механизм оценки важности признаков. Это позволяет определить, какие факторы (например, уровень дохода или переработки) оказывают наибольшее влияние на риск увольнения.

XGBoost – эффективный алгоритм градиентного бустинга, который итеративно строит последовательность деревьев решений, каждое из которых направлено на уменьшение ошибки предыдущего ансамбля. Итоговая модель может быть представлена в следующем виде:

$$f(x) = \sum_{k=1}^K \gamma_k h_k(x),$$

где $h_k(x)$ – дерево-регрессор на k -й итерации; γ_k – соответствующий вес.

Процесс обучения сводится к минимизации функции потерь, учитывающей как точность предсказания, так и регуляризацию, что обеспечивает высокую устойчивость к переобучению. XGBoost славится высокой производительностью и возможностью тонкой настройки параметров, позволяя достичь оптимального баланса между скоростью обучения, точностью и обобщающей способностью модели.

На практике для каждого сотрудника X -алгоритм (логистическая регрессия, случайный лес или XGBoost) вычисляет $P(y = 1 | X)$. Если вероятность высока, руководство может своевременно принять меры, направленные на удержание ценного специалиста: пересмотреть систему компенсаций, предложить карьерный рост или оптимизировать рабочую нагрузку. Таким образом, формальные математические описания моделей непосредственно связаны с реальной управленческой задачей – со снижением текучести кадров за счет вовремя предпринятых действий. Для большей наглядности на рис. 1 представлена общая схема применения моделей.

Рис. 1. Применение разработанных моделей для прогнозирования текучести кадров
Fig. 1. Application of the developed models for forecasting employee turnover



Для достижения наилучших результатов в рамках поставленной задачи были эмпирически выбраны оптимальные значения гиперпараметров. В случае логистической регрессии использовалось число итераций $\text{max_iter}=1000$, что обеспечило сходимость алгоритма. Для случайного леса подбирались число деревьев ($n_estimators$), максимальная глубина (max_depth) и критерий разбиения, позволяющие учесть сложные взаимосвязи и избежать переобучения. Для XGBoost варьировались скорость обучения (learning_rate), максимальная глубина деревьев (max_depth) и число итераций ($n_estimators$), а также параметры регуляризации, что позволило достичь высокой точности и устойчивости результатов.

Таким образом, сформированы и настроены три модели машинного обучения: логистическая регрессия, случайный лес и XGBoost. Каждая из них обладает формальной математической основой, четко определяемой архитектурой и набором подогнанных под данные гиперпараметров. Такой подход обеспечивает как высокую точность прогнозирования текучести кадров, так и возможность интерпретации полученных результатов, что непосредственно способствует принятию обоснованных управленческих решений в сфере HR.

Результаты исследований и их обсуждение

Разработанная система прогнозирования текучести кадров основана на применении трех моделей машинного обучения: логистической регрессии, случайного леса (Random Forest) и градиентного бустинга (XGBoost). Для воспроизводимости и объективности экспериментов был использован единый процесс предобработки данных, включающий кодирование категориальных признаков (LabelEncoder) и стандартизацию числовых переменных (StandardScaler), а также фиксированное разбиение выборки на обучающую (80 %) и тестовую (20 %) с параметром $\text{random_state}=42$. Такой подход гарантировал сопоставимость полученных результатов. На тестовой выборке были вычислены ключевые метрики: accuracy, precision, recall и f1 score, значения которых представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты оценки моделей
Table 2. Results of model evaluation

Модель	Метрика			
	accuracy	precision	recall	f1 score
Логистическая регрессия	0,891156	0,684211	0,333333	0,448276
Случайный лес	0,867347	0,500000	0,102564	0,170213
XGBoost	0,877551	0,588235	0,256410	0,357143

Анализ показал, что все три рассмотренные модели обеспечивают высокую точность классификации (более 86 %). Логистическая регрессия продемонстрировала наилучшие результаты по всем основным метрикам: accuracy = 0,891156, precision = 0,684211, recall = 0,333333 и f1 score = 0,448276. Это свидетельствует о сбалансированном соотношении между точностью и полнотой при идентификации сотрудников с высоким риском увольнения. Модель XGBoost, хотя и уступила логистической регрессии, превзошла случайный лес по precision и recall. Случайный лес продемонстрировал высокую accuracy (0,867347), но оказался менее эффективным по recall (0,102564), что затрудняет своевременное выявление сотрудников, действительно склонных к увольнению. Таким образом, логистическая регрессия была признана моделью с наилучшим качеством прогнозирования.

После определения наилучшей модели по качественным показателям проводился интегрированный анализ важности признаков для всех трех алгоритмов. Для логистической регрессии в качестве меры важности использовались абсолютные значения коэффициентов, отражающие вклад каждого признака в логарифм отношения шансов. Для случайного леса и XGBoost применялись встроенные механизмы оценки значимости признаков. Сопоставление результатов после нормализации позволило сформировать сводную сравнительную таблицу (табл. 3).

Таблица 3. Сравнение важности признаков для всех моделей
Table 3. Comparison of feature importance for all models

Наименование признака	Логистическая регрессия	Случайный лес	XGBoost
OverTime	0,099822	0,064823	0,105581
YearsAtCompany	0,080857	0,041914	0,043086
YearsInCurrentRole	0,077865	0,027299	0,031993
YearsSinceLastPromotion	0,055244	0,026549	0,034487
NumCompaniesWorked	0,054052	0,036035	0,033700
MaritalStatus	0,052193	0,025151	0,052048
YearsWithCurrManager	0,051192	0,028512	0,021118
JobLevel	0,050121	0,026893	0,057950
JobSatisfaction	0,047524	0,025368	0,032001
Department	0,044301	0,011564	0,051286
TotalWorkingYears	0,043679	0,048104	0,047878
EnvironmentSatisfaction	0,042066	0,024602	0,026775
JobInvolvement	0,036494	0,022657	0,037186
DistanceFromHome	0,032076	0,042012	0,026622
Age	0,026867	0,056865	0,026889
WorkLifeBalance	0,023424	0,019841	0,025055
StockOptionLevel	0,022516	0,03184	0,063194
Gender	0,022028	0,007987	0,013753
MonthlyIncome	0,02161	0,074968	0,037411
RelationshipSatisfaction	0,018697	0,020104	0,017982
TrainingTimesLastYear	0,018343	0,025413	0,018744
JobRole	0,015388	0,032731	0,025498
PercentSalaryHike	0,013914	0,03253	0,020214
EducationField	0,011636	0,023972	0,020013
DailyRate	0,010048	0,050505	0,021936
MonthlyRate	0,008955	0,04709	0,019752
Education	0,008867	0,018488	0,024337
PerformanceRating	0,00463	0,004958	0
EmployeeNumber	0,002301	0,045296	0,024224
HourlyRate	0,001684	0,043352	0,021568
BusinessTravel	0,001606	0,012577	0,017706
EmployeeCount	0	0	0
StandardHours	0	0	0
Over18	0	0	0

Табл. 3 наглядно демонстрирует как совпадения, так и расхождения в оценке важности признаков тремя моделями. Так, факторы, связанные с оплатой труда и переработками (например, MonthlyIncome, OverTime), подтверждают свою ключевую роль во всех алгоритмах, указывая на их универсальное влияние на риск увольнения. Напротив, ряд признаков (таких как YearsInCurrentRole или JobLevel) проявляет себя неодинаково в разных моделях, что отражает специфику выявления закономерностей в линейных (логистическая регрессия) и более сложных нелинейных (случайный лес, XGBoost) методах. Отдельные признаки получили нулевое значение важности в одной или нескольких моделях (например, EmployeeCount, StandardHours, Over18), что говорит о том, что данные алгоритмы не обнаружили статистически значимого вклада этих факторов в оценку риска увольнения. Таким образом, параллельное использование нескольких моделей позволяет повысить интерпретируемость результатов, учитывать широкий спектр детерминант текучести и дает основания для более точной настройки управленческих решений в HR-сфере.

Для повышения наглядности был проведен сравнительный анализ десяти наиболее значимых признаков, нормированных относительно суммы их важностей в каждой модели (рис. 2).

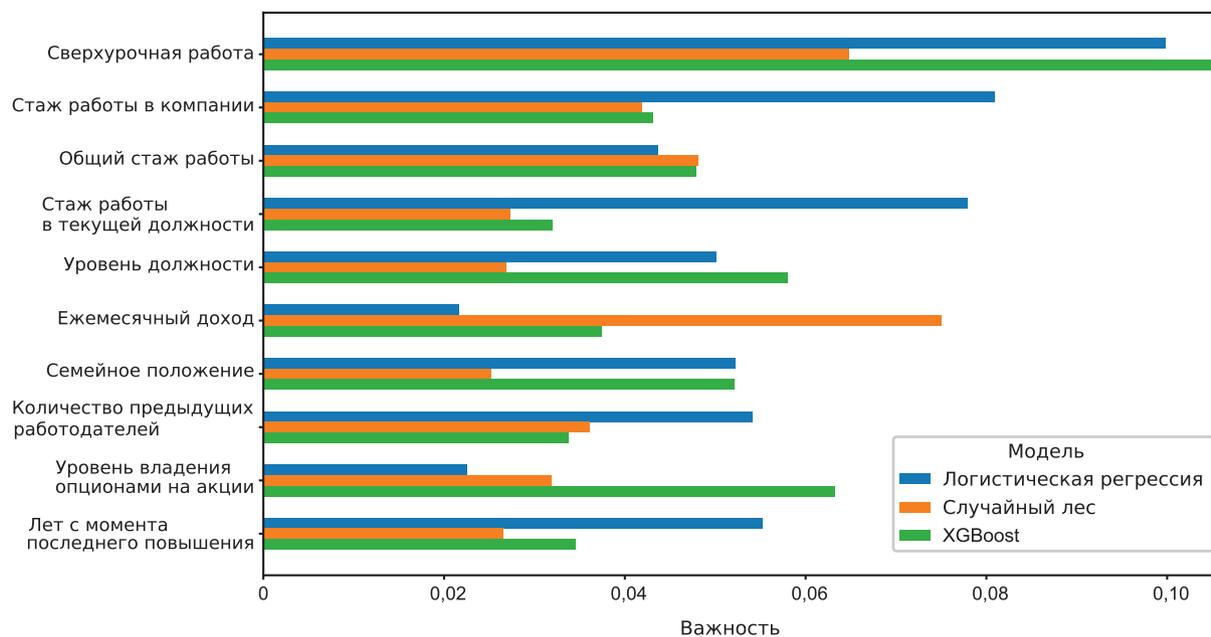


Рис. 2. Сравнение нормализованной важности топ-10 признаков между моделями
Fig. 2. Comparison of normalized importance of top 10 features between models

Нормализация позволяет привести значения важности к единому масштабу, упрощая сравнение вклада факторов между моделями. Визуализация подтверждает выявленные ранее закономерности: признаки, устойчиво проявляющие себя как значимые в разных моделях, следует рассматривать в качестве приоритетных целей для управленческого воздействия. Различия в оценке важности отдельных факторов между моделями могут указывать на потенциальные резервы для дальнейшего уточнения модели, расширения набора признаков или применения более продвинутых методов анализа.

Интегрированный анализ выявил, что основными детерминантами риска увольнения выступают показатели переработок (*OverTime*), трудового стажа (*YearsAtCompany*, *YearsInCurrentRole*, *YearsSinceLastPromotion*), а также такие параметры, как уровень должности (*JobLevel*), размер заработной платы (*MonthlyIncome*), количество предыдущих мест работы (*NumCompaniesWorked*), семейное положение (*MaritalStatus*) и наличие опционов на акции (*StockOptionLevel*). В то же время различия в оценке важности отдельных факторов свидетельствуют о том, что разные алгоритмы по-своему улавливают и интерпретируют связи между признаками и вероятностью увольнения. Такой интегрированный анализ способствует более точной настройке методов прогнозирования и подталкивает к расширению набора признаков или применению более продвинутых алгоритмов, если возникают несовпадения в выявленных закономерностях. Значение практической ценности выводов иллюстрирует пример высокой интенсивности переработок при относительно низком уровне дохода, которая существенно повышает риск увольнения. Для снижения текучести кадров организации могут оптимизировать нагрузку, пересмотреть компенсационные пакеты и более целенаправленно контролировать карьерные перспективы сотрудников. Этот подход обеспечивает системное понимание сложных взаимодействий факторов и облегчает принятие управленческих решений в направлении повышения удовлетворенности персонала и устойчивости HR-политики.

Таким образом, использованный подход, основанный на сравнительном анализе производительности и важности признаков для нескольких моделей, не только повышает точность прогнозирования, но и укрепляет обоснованность принимаемых управленческих решений в сфере управления персоналом. Стратегии, основанные на данных, позволяют более эффективно использовать человеческий капитал, снижать текучесть и повышать конкурентоспособность организации.

Практическая значимость и рекомендации

Результаты проведенного исследования обладают высокой практической значимостью для организаций, стремящихся оптимизировать управление человеческими ресурсами и снизить

уровень текучести кадров. Разработанная модель прогнозирования текучести на основе методов машинного обучения представляет собой эффективный инструмент для принятия обоснованных управленческих решений и реализации проактивных стратегий в области HR-менеджмента. Модель может быть эффективно использована организациями для:

- идентификации сотрудников с высоким риском увольнения: модель обеспечивает точное прогнозирование вероятности увольнения каждого сотрудника, что позволяет своевременно выявлять потенциально рискованных сотрудников. Это создает основу для разработки индивидуализированных мер по удержанию ключевых кадров, включая программы профессионального развития, персонализированные мотивационные схемы и улучшение условий труда;

- оптимизации программ мотивации и компенсации: анализ значимых факторов, влияющих на текучесть, таких как сверхурочная работа, уровень дохода и удовлетворенность работой, предоставляет возможность пересматривать и совершенствовать существующие программы мотивации и компенсации. Это способствует повышению удовлетворенности сотрудников и снижению уровня текучести. Например, внедрение гибких графиков работы, пересмотр политики оплаты труда в соответствии с рыночными тенденциями и обеспечение возможностей карьерного роста;

- планирования кадровой политики: прогнозирование текучести с использованием модели позволяет более точно планировать кадровую политику, включая прогнозирование потребностей в персонале, планирование найма и обучение новых сотрудников. Это способствует снижению издержек, связанных с незапланированным уходом сотрудников, и повышению эффективности HR-процессов.

Для успешного внедрения разработанной модели прогнозирования текучести кадров рекомендуются:

- интеграция модели в информационные системы управления персоналом (HRIS): эффективное использование модели предполагает ее интеграцию в существующие HRIS организации. Это позволит автоматизировать процессы сбора данных, обновления модели и предоставления результатов прогнозирования в режиме реального времени, что повысит оперативность и точность принятия управленческих решений;

- обучение HR-специалистов: успешное внедрение модели требует повышения квалификации сотрудников HR-отдела в области анализа данных и интерпретации результатов моделей машинного обучения. Рекомендуется проведение специализированных тренингов и обучающих программ, чтобы HR-специалисты могли эффективно использовать результаты модели и принимать обоснованные решения на основе данных;

- учет этических и правовых аспектов: при использовании модели необходимо обеспечить конфиденциальность данных сотрудников и соблюдение нормативно-правовых требований, включая законодательство о защите персональных данных. Организациям следует разработать и внедрить политику защиты данных, предотвращающую несанкционированный доступ и использование персональной информации. Также важно обеспечить прозрачность алгоритмов модели и исключить возможную дискриминацию при принятии решений на основе прогнозов;

- постоянное обновление и совершенствование модели: для поддержания высокой точности и актуальности модели рекомендуется регулярно обновлять ее на основе новых данных и проводить мониторинг производительности. Это позволит учитывать изменения во внешней и внутренней среде организации, адаптироваться к новым условиям и поддерживать эффективность прогнозирования;

- оценка эффективности внедрения: организациям следует регулярно оценивать эффективность внедрения модели, анализируя показатели текучести кадров до и после ее внедрения, а также оценивать экономическую эффективность и возврат инвестиций. Это позволит определить степень достижения поставленных целей и принять решения о дальнейшем развитии и совершенствовании модели.

Разработка и внедрение модели прогнозирования текучести кадров на основе методов машинного обучения представляет собой перспективное направление для организаций, стремящихся повысить эффективность управления персоналом и снизить издержки, связанные с текучестью кадров. Реализация предложенных рекомендаций позволит организациям получить конкурентные преимущества за счет более эффективного использования человеческого капитала и принятия обоснованных управленческих решений.

Заключение

1. Разработана и эмпирически проверена модель прогнозирования текучести кадров на основе методов машинного обучения, использующих открытые данные о сотрудниках. Применение логистической регрессии, случайного леса и градиентного бустинга (XGBoost) позволило не только достичь высокой точности прогнозирования, но и выявить ключевые факторы, определяющие вероятность увольнения. Наиболее эффективной оказалась логистическая регрессия, продемонстрировавшая оптимальный баланс между полнотой и точностью позитивных прогнозов.

2. Выделенные значимые признаки, такие как месячный доход, сверхурочная работа, возраст и показатели стажа, представляют ценную информацию для управленцев при разработке стратегий удержания талантов и повышения удовлетворенности сотрудников. Интеграция разработанной модели в информационные системы управления персоналом (HRIS) позволит перейти к проактивному, основанному на данных, кадровому менеджменту, снижая риск невосполнимых кадровых потерь и повышая общую эффективность работы организации.

3. Методологическая прозрачность алгоритмов машинного обучения повышает воспроизводимость полученных результатов, создает условия для их критической оценки и дальнейшего совершенствования подхода. Перспективными направлениями развития представляются расширение набора признаков, анализ временных рядов, применение глубоких нейронных сетей и изучение влияния организационной культуры и внешних факторов. Также целесообразны исследование экономического эффекта от внедрения модели и разработка рекомендационных систем, предлагающих индивидуализированные меры по удержанию персонала.

4. Проведенное исследование свидетельствует о целесообразности и эффективности интеграции методов машинного обучения в HR-аналитику. Полученные результаты закладывают основу для дальнейшего развития научной и практической базы по управлению человеческими ресурсами, способствуя формированию более устойчивой, инновационной и адаптивной кадровой политики в условиях цифровой экономики.

Список литературы / References

1. Becker B. E., Huselid M. A. (1998) High Performance Work Systems and Firm Performance: A Synthesis of Research and Managerial Implications. *Research in Personnel and Human Resources Management*. 16, 53–101.
2. Subhash P. (2017) IBM HR Analytics Employee Attrition & Performance. *Kaggle*. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/pavansubhasht/ibm-hr-analytics-attrition-dataset> (Accessed 1 October 2024).
3. Kotsiantis S. B., Zaharakis I., Pintelas P. (2007) Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques. *In Emerging Artificial Intelligence Applications in Computer Engineering*. 160–175.
4. Russell S. J., Norvig P. (2020) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson.
5. Kazinets A. (2024) *Application of Machine Learning Methods for Employee Turnover Prediction Based on Open Data*. Available: <https://colab.research.google.com/drive/1p6yQv8rZm8jIdtFc2DxYmwROXIGbDH-F?usp=sharing> (Accessed 1 October 2024).

Поступила 16.11.2024

Принята в печать 16.01.2025

Доступна на сайте 10.04.2025

Received: 16 November 2024

Accepted: 16 January 2025

Available on the website: 10 April 2025

Сведения об авторе

Козинец А. Н., асп. каф. экономики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-80-46
E-mail: kozinets.science@gmail.com
Козинец Александр Николаевич

Information about the author

Kazinets A. N., Postgraduate at the Department of Economics, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-80-46
E-mail: kozinets.science@gmail.com
Kazinets Aliaksandr Nikolaevich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-42-47>

УДК 65.011.56

ОПЫТ ОБУЧЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ ВРМ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЭКОНОМИСТОВ-ИНФОРМАТИКОВ

А. М. ЗЕНЕВИЧ, З. В. ПУНЧИК, **О. А. СОСНОВСКИЙ**

Белорусский государственный экономический университет (Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Рассмотрен опыт формирования цифровых компетенций управления бизнес-процессами у экономистов-информатиков на основе ВРМ-концепции (англ. Business Process Management). Охарактеризован современный подход к ВРМ, определены тренды в развитии ВРМ-систем, выявлены ключевые области знаний по процессному управлению, сформулирован базовый набор требований к формированию компетенций по управлению бизнес-процессами, презентован практический опыт обучения методологии ВРМ. Концепция ВРМ рассматривает бизнес-процессы и их совершенствование как важные активы цифровой трансформации, приводящие к повышению всех составляющих эффективности организации. Управление бизнес-процессами на современном этапе – это синтез методологии ВРМ и поддерживающих ее информационных технологий. Для автоматизации всего жизненного цикла совершенствования управления бизнес-процессом используется программное обеспечение – ВРМС-системы. Увеличивающийся спрос бизнеса на эти системы актуализирует необходимость подготовки специалистов по управлению бизнес-процессами на основе концепции ВРМ. В статье изложены основные положения ВРМ и описан практический опыт обучения методологии ВРМ при подготовке экономистов-информатиков в Белорусском государственном экономическом университете.

Ключевые слова: концепция ВРМ, бизнес-процессы, управление бизнес-процессами, система ВРМС, система iВРМС, моделирование бизнес-процессов, нотация моделирования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Зеневич, А. М. Опыт обучения методологии ВРМ при подготовке экономистов-информатиков / А. М. Зеневич, З. В. Пунчик, О. А. Сосновский // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 42–47. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-42-47>.

EXPERIENCE OF TEACHING BPM METHODOLOGY IN TRAINING INFORMATICS ECONOMISTS

ANNA M. ZENEVICH, ZOYA V. PUNCHIK, **OLEG A. SOSNOWSKI**

Belarus State Economic University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article considers the experience of developing digital business process management competencies in computer economists based on the BPM concept (Business Process Management). The article characterizes the modern approach to BPM, defines trends in the development of BPM systems, identifies key areas of knowledge in process management, formulates a basic set of requirements for developing business process management competencies, and presents practical experience in teaching the BPM methodology. The BPM concept considers business processes and their improvement as important assets of digital transformation, leading to an increase in all components of an organization's efficiency. Business process management at the present stage is a synthesis of the BPM methodology and the information technologies that support it. To automate the entire life cycle of improving business process management, the software is used – ВРМС systems. The increasing business demand for these systems actualizes the need to train specialists in business process management based on the BPM concept. The article presents the main provisions of BPM and describes the practical experience of teaching the BPM methodology in the training of computer economists at the Belarusian State Economic University.

Keywords: BPM concept, business processes, business process management, BPMS system, iBPMS system, business process modeling, modeling notation.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

For citation. Zenevich A. M., Punchik Z. V., Sosnowski O. A. (2025) Experience of Teaching BPM Methodology in Training Informatics Economists. *Digital Transformation*. 31 (1), 42–47. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-42-47> (in Russian).

Введение

Процессное управление становится все более популярным средством успешной реализации процессов цифровой трансформации организации. Однако эффективное применение концепции BPM (от англ. Business Process Management) возможно только при наличии определенных компетенций у всех участников управления бизнес-процессами. В статье определяются требования к подготовке специалистов, участвующих в реализации BPM, обосновывается необходимость формирования у экономистов-информатиков компетенций по процессному управлению, приводится опыт подготовки по этому направлению.

Концепция BPM представляет собой структурированный подход к управлению бизнес-процессами организации для повышения эффективности, удовлетворенности клиентов, сокращения затрат и достижения других бизнес-целей, признавая бизнес-процессы как важные активы организации. Программным документом этой концепции является «Свод знаний по управлению бизнес-процессами BPM СВОК 4.0» [1], разработанный глобальной некоммерческой профессиональной ассоциацией Association of BUSINESS PROCESS MANAGEMENT Professionals (ABPMP)¹. В этом документе концепция BPM определяется как «упорядоченный подход к выявлению, проектированию, выполнению, документированию, измерению, мониторингу и контролю как автоматизированных, так и неавтоматизированных бизнес-процессов для достижения последовательных, целевых результатов, соответствующих стратегическим целям организации». Важность владения концепцией управления бизнес-процессами в цифровой трансформации очень высокая.

Результаты исследований и их обсуждение

Необходимые знания, навыки и компетенции для всех лиц, принимающих участие в реализации концепции BPM, сформулированы в практическом руководстве [1]. В [2] изложены основополагающие принципы осуществления управления бизнес-процессами, их преимущества и выгоды для организации. Рассмотрены конкретные примеры, иллюстрирующие этапы проекта, комплекс инструментов и методов BPM, приведены факторы, обеспечивающие успех проекта.

Практика внедрения проектов BPM насчитывает большое количество успешных проектов управления различными бизнес-процессами, например, управление закупками, управление соответствием требованиям, привлечение клиентов, управление жизненным циклом продукта, управление поставщиками. С внедрением и использованием проектов BPM появились новые роли с новыми наборами навыков и обязанностей, сконцентрированных на BPM. К таким ролям относятся: владелец процесса, процессный аналитик, процессный архитектор, бизнес-аналитик, IT-специалист и др. В [1] содержатся описание типовых ролей для процессного аналитика, процессного архитектора, главного процессного архитектора и компетенции в области управления бизнес-процессами по областям знаний.

В документе [3] предусматриваются четыре уровня квалификации: специалист по регламентации бизнес-процессов, процессный аналитик, процессный методолог, процессный архитектор. Следует отметить, что в качестве одной из базовых специальностей, по которой осуществляется подготовка на базе высшего образования, в стандарте указана «бизнес-информатика», близкая по содержанию подготовки к специальности «экономическая информатика» в Республике Беларусь [4].

BPM все чаще применяется для повышения прозрачности бизнес-процессов и требует автоматизации всего жизненного цикла совершенствования управления бизнес-процессом. Для этих целей предназначены BPM-системы (Business Process Management System, BPMS) – класс про-

¹ Стандарт ABPMP для управления бизнес-процессами (BPM) [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.abpmp.org/page/BPM_Profession. Дата доступа: 16.01.2025.

граммного обеспечения для реализации методологии BPM. Пакет BPMS включает технологический набор инструментов, позволяющий всем заинтересованным в реализации концепции BPM лицам достичь своих целей – от обнаружения процесса, его определения и проектирования до внедрения, мониторинга и анализа, а также непрерывной оптимизации. К примеру, система BPMS автоматизирует бизнес-процесс и сама управляет им: передает нужным лицам документы на подпись, контролирует сроки, создает отчеты и т. д. Если в компании внедрена система класса ERP или другие, то система BPMS интегрируется с ней.

Востребованность в BPM-системах постоянно растет. Так, по оценкам Gartner, мировой рынок BPM-систем будет увеличиваться среднегодовыми темпами на 8,2 % и к 2027 г. достигнет 16,9 млрд долл. США. При этом, согласно исследованию Gartner, 80 % компаний признали, что конкурентное преимущество BPM намного выше, чем ERP, CRM и SCM².

Рост популярности BPM-систем обусловлен их преимуществами, к числу которых относят: возможность непрерывного совершенствования бизнес-процессов и, соответственно, улучшения достижения бизнес-целей; сокращение времени выполнения процессов за счет их регламентации и автоматизации отдельных шагов; уменьшение доли ошибочных операций за счет того, что бизнес-процесс контролируется системой; обеспечение соответствия требованиям соглашения об уровне обслуживания; существенное повышение прозрачности операционной деятельности; оперативное внесение изменений в бизнес-процессы, выполняемые в BPM-системе; сбор данных о процессах (время исполнения, загрузка специалистов, затраты ресурсов и т. д.) [5].

К числу мировых лидеров, согласно квадранту Gartner, относят проприетарные BPM-системы (Pega Platform, Appian BPM, IBM Business Automation Workflow, Microsoft Power Automate) и открытые (Camunda BPM). Известными BPM-системами российских разработчиков являются Elma365, Directum RX, «Первая Форма», «Битрикс24». С развитием передовых IT-технологий, таких как роботизированная автоматизация процессов (RPA – Robotic Process Automation), искусственный интеллект (ИИ) и других, выделился отдельный класс BPM-систем – iBPMS (Intelligent Business Process Management Software). RPA в iBPMS – это «технология, которая имитирует взаимодействие людей с программным обеспечением для выполнения объемных, повторяющихся задач. Технология RPA создает программы или ботов, которые могут входить в приложения, вводить данные, вычислять и выполнять задачи, а также копировать данные между приложениями или рабочими процессами по мере необходимости»³. RPA дополняют возможности BPM-системы и делают бизнес-процесс более эффективным [6].

Сочетание RPA с когнитивными технологиями позволяет автоматизировать задачи с большей добавленной ценностью. Функциональность RPA применительно к BPM стремительно расширяется и в настоящее время. К перспективным технологиям относят: автоматизацию с использованием когнитивных технологий, применение роботов в сочетании с аналитикой, искусственным интеллектом и непрерывно самообучающихся когнитивных роботов [1]. Преимущества использования ИИ в iBPMS – это прогнозный анализ, выявление возможностей для постоянного улучшения, операционная эффективность, сокращение затрат и времени. Кроме того, прозрачность, обеспечиваемая явным включением ИИ в BPMS, способствует более четкому пониманию процессов, облегчая управление и принятие обоснованных решений. Однако, как крайне важные, при подобном подходе следует учитывать такие этические вопросы, как алгоритмическая предвзятость, справедливость и конфиденциальность [7]. В большинстве iBPMS реализованы не требующие обширных знаний в области программирования Low-code-инструменты, а также инструменты совместной работы и коммуникации, обеспечивающие совместную работу по проектированию, моделированию и выполнению бизнес-процессов широкого класса, бизнес-пользователей, в том числе не являющихся IT-специалистами.

В настоящее время в качестве подхода к совершенствованию бизнес-процессов организаций рассматривается также применение методов процессной аналитики (англ. Process Mining). Программные средства Process Mining предназначены для обнаружения бизнес-процесса, выявления отклонений от существующей модели на основании фактических данных из логов – журналов событий информационных систем [8].

² Что такое методология BPM в управлении процессами? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cflowapps.com/bpm-methodology/>. Дата доступа: 16.01.2025.

³ Роботизированная автоматизация процессов (RPA) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.techtarget.com/searchcio/definition/RPA>. Дата доступа: 16.01.2025.

В методологии BPM модель – это формализованное представление бизнес-процесса; нотация – система условных обозначений. Нотация является важной составляющей моделирования бизнес-процессов. При выборе нотации следует учитывать, что на разных этапах проекта моделирования и уровнях процессной иерархии оптимальными могут оказаться разные нотации. Наиболее известные нотации – BPMN, EPC, IDEF0, UML. В BPM-системе создание моделей процессов и описание исполнения процессов, как правило, осуществляется в нотации BPMN. Нотация BPMN позволяет тщательно описывать все этапы бизнес-процессов, заинтересованных лиц и базовые данные в структурированных форматах, которые могут читать и интерпретировать как люди, так и средства ИИ, что обеспечивает его интеграцию в моделирование процессов.

К областям знаний по управлению бизнес-процессами в направлении процессной трансформации относятся: моделирование процессов, анализ процессов, проектирование процессов, измерение эффективности процессов, информационные технологии BPM. Методология BPM с ее элементами анализа, моделирования и оптимизации бизнес-процессов достаточно сложна, требует внимательного изучения, а для ее использования необходимо владение навыками применения BPM-систем. Это означает, во-первых, формирование у студентов структурированного взгляда на деятельность бизнеса и понимание взаимосвязей различных задач, которые необходимы для внедрения и выполнения бизнес-процессов, во-вторых – оснащение студентов навыками и методами моделирования, такими как модель и нотация бизнес-процессов для графического представления бизнес-процессов и основы для оптимизации.

Сформулированные требования обуславливают в рамках подготовки в Белорусском государственном экономическом университете на факультете цифровой экономики по специальности «экономическая информатика» необходимость формирования у студентов цифровых компетенций в областях знаний, связанных с моделированием, анализом, проектированием бизнес-процессов. Формирование цифровых компетенций по бизнес-процессам осуществляется при изучении дисциплины «управление бизнес-процессами». В рамках дисциплины студенты изучают теоретические основы управления бизнес-процессами организации: процессный подход к управлению в организации; методы описания и моделирования бизнес-процессов; принципы выделения процессов верхнего уровня и декомпозиции бизнес-процессов; приобретают навыки определения владельцев, потребителей и участников бизнес-процессов организации; знакомятся с различными нотациями моделирования, со стратегией организации и с архитектурой процессов. С использованием программного продукта Business Studio 5.0 осваивают моделирование бизнес-процессов в нотациях IDEF0, EPC, basic flowchart и cross-functional flowchart, BPMN, построение стратегической карты организации. Следует отметить, что при обучении моделированию бизнес-процессов решаются различные задачи: например, определение набора действий, составляющих бизнес-процесс; определение результата бизнес-процесса; определение ресурсов, потребляемых бизнес-процессом; определение потенциальных узких мест и возможностей для улучшения процесса. При моделировании студенты также определяют бизнес-цели, в достижение которых вносит свой вклад моделируемый процесс. Для оценки эффективности процесса учатся разрабатывать систему показателей.

Для понимания BPM как парадигмы управления, увязывающей стратегию и цели организации с ожиданиями и потребностями клиентов путем соответствующей организации бизнес-процессов, студенты проектируют стратегическую карту с деревом целей организации, разрабатывают показатели достижения этих целей и изучают, как осуществляются контроль показателей и оценка достижения целей. Также в учебном процессе планируется использовать российский программный продукт Low-code BPM платформы ELMA 365. Он доступен бесплатно на образовательной платформе ELMA Academy всем преподавателям и студентам в рамках Академической программы компании ELMA. В рамках программы предоставляется возможность пройти онлайн-обучение для получения базовых навыков и знаний по практике работы с ELMA и формирования компетенций в области технологий реализации подхода BPM к управлению бизнес-процессами.

В проведенном исследовании обоснована необходимость формирования компетенций по применению методологии BPM у IT-специалистов в связи с активным внедрением BPMS. При отсутствии опубликованных отечественных документальных материалов, содержащих конкретные

требования к компетенциям, проанализированы авторитетные источники, что позволило сформулировать комплекс требований к компетенциям. Представленный авторский опыт обучения процессному управлению в высшей школе направлен на повышение конкурентоспособности на рынке труда специалистов с квалификацией «экономист-информатик».

Заключение

1. Совместное использование концепции процессного управления и поддерживающих ее BPM-систем в направлении постоянного совершенствования бизнес-процессов является современным трендом цифровой трансформации бизнеса с целью повышения его эффективности.

2. В управление бизнес-процессами вовлечены не только менеджеры, IT-специалисты, но при использовании BPM-систем и экономисты-информатики – те, кто обладает компетенциями на стыке бизнеса и информационных технологий.

3. Формирование компетенции процессного управления, включая навыки применения BPM-систем при подготовке экономистов-информатиков, является актуальной задачей обучения в направлении цифровой трансформации бизнеса. Например, в Республике Беларусь методология BPM чаще всего внедрена в банковской системе, и в настоящее время активно осуществляется роботизация отдельных задач. При обсуждении качества и содержания подготовки специалистов с квалификацией «экономист-информатик» руководители практики от организаций, реализующих процессный подход, в устных беседах отмечают, что владение BPM-системами является важным преимуществом на рынке IT-специалистов, и готовы принимать выпускников на должности, связанные с ролью процессного аналитика или архитектора.

Список литературы

1. Свод знаний по управлению бизнес-процессами BPM CBOK 4.0 / Т. Бенедикт [и др.]. М.: Альпина Паблишер, 2022.
2. Джестон, Джон. Управление бизнес-процессами. Практическое руководство по успешной реализации проектов / Джон Джестон, Йохан Нелис; пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2015.
3. Профессиональный стандарт. Специалист по процессному управлению: утвержден приказом Минтруда труда и соц. защиты Рос. Федерации от 17 апреля 2018 г. № 248н [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://abpmp.org.ru/wp-content/uploads/2015/12/ps-process-text.pdf>. Дата доступа: 16.01.2025.
4. Зеневич, А. М. Бизнес-информатика как междисциплинарное направление подготовки специалистов в Республике Беларусь / А. М. Зеневич, З. В. Пунчик // Научные труды Белорусского государственного экономического университета. 2020. Вып. 13. С. 264–269.
5. Зеневич, А. М. Изучение BPM-системы при подготовке экономистов-информатиков / А. М. Зеневич, З. В. Пунчик // Экономический рост Республики Беларусь: глобализация, инновационность, устойчивость: матер. XVII Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 16 мая 2024 г. Минск: Колорград, 2024. С. 317–318.
6. Сосновский, О. А. Программные роботы как инструмент цифровой трансформации экономики / О. А. Сосновский, С. Н. Генрихсен, А. М. Зеневич // Вестник Белорусского государственного экономического университета. 2023. № 4. С. 46–54.
7. Пунчик, З. В. Основы этически ориентированного использования искусственного интеллекта при подготовке специалистов / З. В. Пунчик, А. М. Зеневич // Педагогика информатики. 2023. № 1–2. С. 60–68.
8. Дашук, Э. В. Анализ бизнес-процессов в контексте цифровой трансформации / Э. В. Дашук, А. М. Зеневич // Вестник Белорусского государственного экономического университета. 2023. № 3. С. 106–114.

Поступила 27.01.2025

Принята в печать 26.02.2025

Доступна на сайте 10.04.2025

References

1. Benedict T., Kirchmer M., Scharsig M., Franz P., Saxena R., Morris D., et al. (2022) *Business Process Management Body of Knowledge BPM CBOK 4.0*. Moscow, Alpina Publisher (in Russian).
2. Jeston John, Nelis Johan (2015) *Business Process Management. A Practical Guide to Successful Project Delivery Business Process Management: A Practical Guide to Successful Project Implementation*. Moscow, Alpina Publisher (in Russian).

3. Professional Standard. Process Management Specialist. *Approved by Order of the Ministry of Labor and Social Protection of the Russian Federation, Dated April 17, 2018, No 248n*. Available: <https://abpmp.org.ru/wp-content/uploads/2015/12/ps-process-text.pdf> (Accessed 16 January 2025) (in Russian).
4. Zenevich A., Punchik Z. (2020) Business Informatics as an Interdisciplinary Direction of Training Specialists in the Republic of Belarus. *Scientific Works of the Belarusian State University of Economics*. (13), 264–269 (in Russian).
5. Zenevich A. M., Punchik Z. V. (2024) Studying BPM Systems in the Preparation of Economists-Informaticians. *Economic Growth of the Republic of Belarus: Globalization, Innovation, Sustainability: Materials of the XVII International Scientific and Practical Conference, Minsk, May 16, 2024*. Minsk, Colorgrad Publ. 317–318 (in Russian).
6. Sosnowski O., Genrihsen S., Zianeovich H. (2023) Software Robots as a Tool for Digital Transformation of the Economy. *Bulletin of the Belarusian State Economic University*. (4), 46–54 (in Russian).
7. Punchik Z., Zenevich A. (2023) Fundamentals of Ethically Oriented Use of Artificial Intelligence in Training Specialists. *Pedagogy of Computer Science*. 1–2, 60–68 (in Russian).
8. Dashuk E., Zianeovich H. (2023) Analysis of Business Processes in the Context of Digital Transformation. *Bulletin of the Belarusian State Economic University*. (3), 106–114 (in Russian).

Received: 27 January 2025

Accepted: 26 February 2025

Available on the website: 10 April 2025

Вклад авторов

Зеневич А. М., Пунчик З. В. сформулировали задачу, сделали разработку, оформили рукопись статьи.
Зеневич А. М., Сосновский О. А. провели практическую апробацию.

Authors' contribution

Zenevich A. M., Punchik Z. V. formulated the task, developed the article, and prepared the manuscript.
Zenevich A. M., Sosnowski O. A. conducted practical testing.

Сведения об авторах

Зеневич А. М., канд. экон. наук, доц., доц. каф. экономической информатики, Белорусский государственный экономический университет (БГЭУ)

Пунчик З. В., канд. социол. наук, доц., доц. каф. экономической информатики, БГЭУ

Сосновский О. А., канд. техн. наук, доц., доц. каф. экономической информатики, БГЭУ

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
Минск, просп. Партизанский, 26
Белорусский государственный
экономический университет
Тел.: +375 29 665-17-58
E-mail: zannam@bseu.by
Зеневич Анна Михайловна

Information about the authors

Zenevich A. M., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Economic Informatics, Belarus State Economic University (BSEU)

Punchik Z. V., Cand. Sci. (Sociol.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Economic Informatics, BSEU

Sosnowski O. A., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Economic Informatics, BSEU

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Partizanski Ave., 26
Belarus State
Economic University
Tel.: +375 29 665-17-58
E-mail: zannam@bseu.by
Zenevich Anna Michailovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-48-59>

УДК 330.322.65

ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СТАРТАПА К ЭКОНОМИЧЕСКОМУ АКТИВУ: КОНЦЕПТЫ И СУБЪЕКТЫ СТРАТЕГИИ КОММЕРЦИАЛИЗАЦИИ

В. Л. ШАБЕКА

Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Подготовка тщательно проработанной, адаптированной к текущим условиям, т. е. жизнеспособной стратегии коммерциализации (СК) отечественных технологических стартапов является ключевой предпосылкой для их успешной реализации. В статье представлены структурный состав (элементы, их содержание и соотношение) СК и ее методологические основы в условиях внешних экономических ограничений (ВЭО). Определена суть проблемы реализации СК в условиях действия ВЭО, раскрыты теоретические основы для содержания концептов СК и построения структуры их функционирования. Дана краткая характеристика основных субъектов государственного сегмента современной инновационной экосистемы Республики Беларусь с определением их потенциала для реализации СК при ВЭО. Стратегия коммерциализации исследована на примере реального технологического стартапа «Разработка программно-аппаратного комплекса AutoDominoes для минимизации последствий автоаварий каскадного типа» от стадии идеи до состояния реального экономического актива.

Ключевые слова: технологический стартап, стратегия коммерциализации, концепты, субъекты инновационной экосистемы, экономика ограничений, раунды финансирования, этапы развития.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Автор выражает благодарность профессору Валерию Павловичу Старжинскому, профессору кафедры философских учений Белорусского национального технического университета, CEO технологического стартапа «Разработка программно-аппаратного комплекса AutoDominoes для минимизации последствий автоаварий каскадного типа» за представленную возможность развития практического опыта в сфере технологического предпринимательства, консультирование по вопросам методологии науки, а также академику-секретарю отделения физики, математики и информатики Национальной академии наук Беларуси, профессору Александру Геннадьевичу Шумилину за консультирование по вопросам методологии науки и структурирование материала исследования.

Для цитирования. Шабeka, В. Л. От технологического стартапа к экономическому активу: концепты и субъекты стратегии коммерциализации / В. Л. Шабeka // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 48–59. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-48-59>.

FROM TECHNOLOGICAL STARTUP TO ECONOMIC ASSET: CONCEPTS AND SUBJECTS OF COMMERCIALIZATION STRATEGY

ULADZIMIR L. SHABEKA

Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Preparation of a carefully developed, adapted to current conditions, i. e. viable commercialization strategy (CS) of domestic technology startups is a key prerequisite for their successful implementation. The article presents the structural composition (elements, their content and correlation) of the CS and its methodological foundations in the context of external economic constraints (EEC). The essence of the problem of implementing the CS in the context of EEC is defined, the theoretical foundations for the content of the CS concepts and the construction of the structure of their functioning are revealed. A brief description of the main entities of the state segment of the modern innovation ecosystem of the Republic of Belarus is given with the definition of their potential for the implementation of the CS under EEC. The commercialization strategy is studied using the example of a real

technology startup “Development of the AutoDominoes hardware and software complex to minimize the consequences of cascade-type car accidents” from the idea stage to the state of a real economic asset.

Keywords: technology startup, commercialization strategy, concepts, subjects of the innovation ecosystem, constraint economy, funding rounds, development stages.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

Gratitude. The author expresses gratitude to Professor Valery Starzhinsky, Professor of the Department of Philosophical Doctrines of the Belarusian National Technical University, CEO of the technological startup “Development of the AutoDominoes hardware and software complex to minimize the consequences of cascade-type car accidents” for the opportunity to develop practical experience in the field of technological entrepreneurship, consulting on the methodology of science, as well as to the Academician-Secretary of the Department of Physics, Mathematics and Computer Science of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor Alexander Shumilin for consulting on the methodology of science and structuring the research material.

For citation. Shabeka, U. L. (2025) From Technological Startup to Economic Asset: Concepts and Subjects of Commercialization Strategy. *Digital Transformation*. 31 (1), 48–59. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-48-59> (in Russian).

Введение

Стратегия коммерциализации (СК) – ключевая категория в сфере технологического предпринимательства [1–5]. В значительной степени она является условием трансформации идеи основателя (в международной практике CEO – Chief Executive Officer – главный управляющий/генеральный директор) продуктового технологического стартапа в состоявшийся корпоративный бизнес [6–8]. Таким образом, СК – обязательный и основополагающий компонент в деятельности команды стартапа на всех этапах – от зарождения идеи, ее тестирования на минимально жизнеспособном продукте (англ. Minimum Viable Product, MVP), упаковки коробочной версии продукта до его запуска в серию; от появления первых единомышленников и последователей основателя венчурного проекта до развития его полноценной управленческой команды, создания трудового коллектива, т. е. до преобразования технологического стартапа в реальный экономический актив – действующий корпоративный бизнес [9, 10]. СК – это про концепты (сущностные компоненты) истории успеха и их структуру.

Исходя из анализа «боли рынка», видения CEO ее разрешения на финише, в том числе при проекции на рынок продукта в динамике, все этапы СК могут трансформироваться на разных стадиях развития (тактические аспекты) [11]. То есть могут вноситься изменения в структуру содержания концептов СК, поскольку потребности проекта на разных этапах развития будут изменяться [12]. Но компонентная структура самих концептов останется неизменной.

В статье приведены результаты дескриптивного и конструктивного (для конкретного технологического стартапа) анализа того, что включает в себя СК и какова логика соотношения элементов ее наполнения/концептов. В качестве базового примера рассмотрен реальный технологический стартап «Разработка программно-аппаратного комплекса AutoDominoes для минимизации последствий автоаварий каскадного типа» от команды-финалиста Республиканского конкурса инновационных проектов, проводившегося ГКНТ Беларуси¹ и Белинфондом² (в номинации «Лучший инновационный проект») в составе преподавателей и студентов БНТУ, БГАИ, аспиранта Института физики НАН Беларуси [13] на основе патентов [14, 15].

Стратегии коммерциализации технологического стартапа: теория и практика

При разработке СК для технологического предпринимательского проекта (ТПП) в теории и практике венчурного технологического предпринимательства в качестве основных обычно рассматривают три возможных способа/сценария коммерциализации:

¹ О Республиканском конкурсе инновационных проектов / Национальный интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Гос. ком. по науке и техн. Респ. Беларусь. Минск, 2024. Режим доступа: https://gknt.gov.by/deyatelnost/konkursy-innovatsionnykh-proektov.php?sphrase_id=29964. Дата доступа: 11.11.2024.

² Республиканский конкурс инновационных проектов [Электронный ресурс] // Белор. иннов. фонд. Минск, 2024. Режим доступа: <https://konkurs.belinfund.by/>. Дата доступа: 11.11.2024.

1) условно пессимистичный – инновационный корпоративный бизнес не создан, но разработана интеллектуальная собственность (англ. Intellectual Property, IP) с определенным коммерческим потенциалом (здесь в СК предполагается единоразовая полная передача прав на результаты ТПП (полное отчуждение прав через продажу IP), т. е. доля потенциальной добавленной стоимости от ТПП, получаемая технологическим предпринимателем, сравнительно невысока, но коммерческий результат все же получен);

2) условно оптимальный – де-факто для развития ТПП может быть даже зарегистрировано юрлицо для многократной реализации права собственности на IP с очевидным коммерческим потенциалом (здесь в СК предполагается систематическое возмездное предоставление права использования результатов ТПП, т. е. коммерциализация IP осуществляется через лицензионный договор, или договор комплексной предпринимательской лицензии (франчайзинг), или договор о предоставлении секретов производства (ноу-хау), исключительная неисключительная лицензия);

3) оптимистичный – развитие идеи СЕО и командой осуществлено до создания полноценного корпоративного бизнеса (здесь СК предусматривает создание полноправного юридического лица для самостоятельной системной реализации, но не только разработанного и принадлежащего создателю ТПП IP, а на его основе самостоятельно произведенных товаров/услуг (самоиспользование IP))³.

На практике бизнес-инкубаторы, акселераторы, бизнес-ангелы и венчурные фонды разных стадий ориентируются преимущественно на оптимистичный сценарий, поскольку в этом, по сути, и состоит венчурная природа технологического предпринимательства – ищем «единорога», «10X». В теории инновационной экономики и технологическом предпринимательстве, в учебном процессе подготовки технологических предпринимателей также обычно ориентируются на оптимистичный сценарий СК – венчурную историю успеха^{4,5,6}. Этот подход в учреждениях высшего технического образования, где преподаются дисциплины типа «инновационная экономика и технологическое предпринимательство», «коммерциализация научно-исследовательской деятельности» и т. п., выглядит оправданным⁷. Однако с практической точки зрения при разработке СК, а также из учебного процесса технического учреждения образования не стоит исключать и два предшествующих варианта, потому что продукты с потенциалом взрывного роста – скорее, все же исключение даже в сфере инновационного технологического предпринимательства.

Примечание. Суть разрабатываемого программно-аппаратного комплекса AutoDomonoes для минимизации последствий автоаварий каскадного типа (ПАК) в следующем. Пользователи гаджетов, среди которых высока доля автомобилистов, уже используют в своем большинстве современные устройства мобильной связи, позволяющие снимать данные о координатах места нахождения и скорости перемещения, об ускорении перемещения гаджета (соответственно самого водителя и управляемого им автомобиля). Гаджет позволит зафиксировать так называемый эффект обратного ускорения, образующийся при ДТП. Тогда мобильное приложение AutoDomonoes считывает данный сигнал и посредством технологий GSM-связи оперативно направляет его на сервер, который трактует сигнал как потенциально аварийный (предпосылка для ДТП), а при поступлении из одной координатной точки/области 2+ таких сигналов фиксирует автомобильную массовую аварию. Команда AutoDomonoes осознает и продолжает изучать сложности генерации ложных сигналов и др. При этом она нацелена на верификацию защищенной патентом НЦИС РБ [14, 15] идеи путем проверки работоспособности уже созданного MVP и тестирования гипотезы роста.

Идея о целесообразности унифицированного и последовательного пути реализации бизнес-процессов в сценарии развития ТПП заключается:

- в создании продукта (от идеи до серийного или массового производства, массовых продаж);
- в создании бизнеса (от основателя ТПП-одиночки (или небольшой группы основателей-единомышленников) до управленческой команды международной корпорации);
- в прохождении всех инвестиционных раундов (от самофинансирования и ЗФ до раундов С, D (например, до слияния и поглощения, или первичной публичной продажи акций

³ Стратегия коммерциализации инновационного проекта [Электронный ресурс] // Респ. конкурс иннов. проектов ГКНТ Беларусь БИФ. Режим доступа: <https://konkurs.belinfund.by/docs>.

⁴ Инновационная экономика и технологическое предпринимательство / О. А. Алексеева [и др.]. СПб.: Ун-т ИТМО, 2019.

⁵ Чубайс, А. Б. Инновационная экономика и технологическое предпринимательство / А. Б. Чубайс, В. И. Воронин. М.: Паулсен, 2022.

⁶ Metrick, Andrew. Venture Capital & the Finance of Innovation. Second Edition / Andrew Metrick, Ayako Yasuda. NY: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

⁷ Ваучеры и гранты. Деятельность [Электронный ресурс] // Белорусский инновационный фонд. Режим доступа: <https://belinfund.by/devatelnost/vauchery-i-granty/>. Дата доступа: 28.02.2024.

(англ. Initial Public Offering, IPO) на фондовой бирже, или вторичной публичной продажи акций (англ. Secondary Public Offering, SPO), т. е. частичная или полная продажа и выход из бизнеса.

Эта идея представляется полезной при моделировании стратегии коммерциализации любого ТПП на ранней стадии [16, 17], в том числе для рассматриваемого ТПП AutoDominoes, запускаемого реальной командой технологических предпринимателей [13].

Концепты стратегии коммерциализации технологического предпринимательского проекта и триггеры для их запуска

Для обоснования наиболее подходящего для команды и продукта варианта СК необходимо определить по концептуальным для ТПП составляющим, кто будет в проекте:

- пользователи (выгодоприобретатели);
- клиенты (основные плательщики; и будут или нет пользователи и клиенты одними лицами);
- стратегические партнеры (коллаборанты по некоммерческим интересам);
- стратегические инвесторы (корпоративные и/или финансовые).

Именно эти понятия и их соотношение в рамках конкретного ТПП составляют конструктивную структуру концептов для СК технологического стартапа.

Концепт «пользователи». В понимании команды базового проекта собственной маркетинговой стратегии пользователями (кто пользуется продуктом, и они же – выгодоприобретатели) будут водители – владельцы гаджетов со скачанным мобильным приложением AutoDominoes. Этот объединенный массив мотивированных пользователей (целевая группа) и должен сформировать коммерческий потенциал ТПП. Очевидно, что система ПАК начнет работать при условии скачивания приложения (или использования устройства для его замены) не менее чем 60 % участников дорожного движения в Беларуси (от 1,2 до 2,5 млн скачиваний – триггер для модели В2С (Business-to-Consumer – бизнес для потребителя/гражданина). Наличие подключенного гаджета со скачанным приложением в салоне любого транспортного средства (или присутствие устройства-заменителя в автомобиле, или встроенного в ПО автомобиля соответствующего модуля) – ключевая задача для запуска концепта «пользователи» в СК ТПП. Это должно стать столь же обязательным, как и наличие медицинской аптечки, исправного огнетушителя, знака аварийной остановки. Очевидно, что такая задача для команды ТПП на начальной стадии достаточно сложная. Но потенциальные мотивированные пользователи все же есть. Это – автовладельцы (граждане, заботящиеся о своем имуществе и здоровье, т. е. основания для СК под модель В2С существуют) и автоперевозчики (предотвращение ущерба по транспорту и грузу), модель В2В (Business-to-Business – бизнес для бизнеса). И они получают бесплатное скачивание как минимум базовой версии ПАК AutoDominoes.

Концепт «клиенты». Системным клиентом (оплачивающим пользование продуктом, т. е. плательщиком) видится в первую очередь предельно мотивированная в предупреждении ДТП национальная система обязательного страхования гражданской ответственности владельцев транспортных средств (ОСГО). А именно – Белорусское бюро по транспортному страхованию и объединяемые им белорусские операторы рынка ОСГО с их законами и закрепленными отчислениями в фонд превентивных мероприятий. За счет удовлетворения интересов системных базовых клиентов предполагается покрытие как минимум операционных издержек ТПП. Реализация коллаборации моделей В2С (пользователи) + В2В (базовые покупатели) поможет создать предпосылки для монетизации ТПП через базовую Revenue Share Subscription (RSS – подписка на разделение доходов, за счет отчислений из превентивного фонда системы ОСГО покрываются непосредственно постоянные операционные издержки для функционирования ТПП). Далее возможно появление дополнительных плательщиков по создаваемому ими непосредственному вкладу в добавленную стоимость ТПП – платные сервисы и реклама на основе модели В2В для объектов придорожного сервиса (мотелей, заправок, СТО/автосервисов, магазинов, кафе и т. п.), служб эвакуации, дорожных сервисных служб, потребителей Big Data (больших данных) и др.

Концепт «стратегические партнеры». В качестве ключевых стратегических партнеров (кто заинтересован в коллаборации, хотя и без прямого финансирования в ТПП, непосредственно оплаты операционных издержек или формирования прибыли проекта, но с некоммерческими мотивами и возможностями для продвижения ТПП) команда AutoDominoes видит заинтересован-

ных в получении социального эффекта от ТПП субъектов СК и взаимодействует с ними в первую очередь по модели B2G (Business-to-Government – бизнес для правительства). Это изначально не коммерческие организации или организации, в деятельности которых извлечение прибыли не является основной целью, а такие, как:

- МВД (за счет заинтересованности в снижении аварийности через предупреждение перерастания малых ДТП в массовые);
- МЧС (за счет улучшения экстренного оповещения, т. е. минимизации последствий благодаря сокращению времени до начала ликвидации последствий);
- Минздрав (за счет повышения эффективности функционирования сервисов медицины катастроф, т. е. уменьшения времени на прибытие к месту ДТП),
- белорусские некоммерческие профессиональные объединения в сфере транспорта: Ассоциация международных автомобильных перевозчиков «БАМАП» (сохранность транспорта профессиональных перевозчиков и перевозимых ими грузов), Ассоциация международных экспедиторов и логистики «БАМЭ» (обеспечение условий для качественного выполнения услуг) и др.;
- субъекты административно-территориального управления Республики Беларусь (создание предпосылок к уменьшению количества происшествий или снижению тяжести их последствий в конкретном регионе).

Со стратегическими партнерами у команды ТПП должны быть запланированы и реализованы совместные промаркетинговые мероприятия социальной направленности. Незначительное финансирование от этой категории субъектов тоже может быть, но скорее в форме льготной RSS. При этом вклад в продвижение за счет расширения подписки, как обеспечение триггерного условия запуска ТПП, от таких коллабораций может быть неоценимым.

Концепт «стратегические инвесторы». Принимая во внимание потенциальную возможность интеграции разрабатываемой командой AutoDominoes технологии в функционал глобальных разработчиков картографических сервисов типа «Яндекс.Карты» или Google.Maps, их или их корпоративные венчурные фонды можно и нужно рассматривать в качестве стратегических (корпоративных) инвесторов (кто готов купить долю, войти в бизнес или поглотить проект полностью с последующей интеграцией ПАК в структуру своего продукта), что возможно на стадии высокой готовности продукта ТПП. Производители электроники также подлежат изучению. По поводу данного сценария СК следует отметить, что в отечественной культуре технологического предпринимательства нередко можно встретить его неоднозначное восприятие. Это связывают с представлением СЕО о потере контроля над своим ТПП. Вместе с тем в международной практике привлечение стратегических (корпоративных) инвесторов принято ассоциировать с умными инвестициями (англ. Smart Investment), так как в проект приходят не только деньги, непосредственно необходимые для реализации конкретных задач текущей стадии, но (что может быть определяющим для его успеха) и опыт, компетенции и нетворкинг более высокого уровня, чем есть у самих создателей. Как правило, профессиональные корпоративные инвесторы при поглощении ТПП также предлагают команде стартапа интеграцию в свой штат. Более того, с целью поддержания ее высокой мотивации через возможность участия в разделении результатов успешной реализации оставляют некоторую долю собственности в проекте за его создателями.

Как отмечалось ранее, потенциально только в Беларуси при реализации оптимистичного сценария можно ожидать в автомобильной сфере порядка двух миллионов профильных подписчиков как основу коммерческого потенциала базового ТПП. Тогда за счет контекстного предложения через самостоятельно выбираемые пользователями варианты подписки ПАК и, соответственно, сопутствующего информирования о профильных в транспортной сфере услугах возможна ориентация ТПП AutoDominoes на предельный оптимистичный сценарий СК – венчурную историю, т. е. с привлечением стратегических (финансовых) инвесторов ВА (Business Angels – бизнес-ангелы), VC (Venture Capital – венчурные фонды/капитал, венчурное финансирование) и PE (Private Equity – прямые инвестиции, фонды прямых инвестиций), ориентированных на X-кратный сценарий роста и выход из проекта, не исключая в том числе выкуп инвестиционных долей и самой командой ТПП. Очевидно, что в СК концепт «стратегические инвесторы» приобретает для СЕО особую значимость, так как специфически за счет использования различного рода ресурсов можно рассчитывать на развитие возможностей, связанных с ключевыми концептами «пользователи» и «клиенты».

Субъекты стратегии коммерциализации, их роль в условиях экономики ограничений

В связи с переживаемым в настоящий момент (национальной экономикой страны в целом и сферой технологического предпринимательства в частности) воздействием внешних экономических ограничений (ВЭО) эффективность функционирования субъектов отечественной инновационной экосистемы (ОИЭС), обеспечивающих инвестиционную составляющую, приобретает особую важность. Варианты привлечения инвестиций в стартапы (на самых ранних стадиях) и проекты малого технологического предпринимательства со стороны частных инвесторов существенно изменились в условиях как политического кризиса в регионе, так и усиливающихся ВЭО.

Краудфандинг, помощь меценатов и спонсоров как классическая форма поддержки для отечественных начинающих технологических предпринимателей (на «предпосевном» и «посевном» раундах) практически исчезли, а помощь сообщества бизнес-ангелов и акселерационные программы (непосредственно на раунде «стартап») ощутимо уменьшились. В связи с этим созданная еще до кризиса и ВЭО инфраструктура государственной финансовой поддержки ТПП и ее эффективное функционирование приобретают определяющее значение в судьбе начинающих отечественных инновационных предпринимателей, лишенных в силу не зависящих непосредственно от них обстоятельств ряда классических вариантов получения финансовой помощи.

Проведенный анализ структуры субъектов ОИЭС показал, что линейка возможностей упомянутого (и ключевого для текущего момента) государственного сегмента для различных стадий ТПП представлена достаточно широко. Здесь для некоторых отраслей национальной экономики имеются варианты безвозмездной (меценатской, спонсорской) помощи и вхождения в долю ТПП стратегических как финансовых, так и корпоративных инвесторов на этапах раннего роста (раунды финансирования А и В для VC). Кроме того, есть субъекты для финансирования запущенных ТПП (этапы «расширение» и «промежуточный» (подготовка ТПП для перехода к статусу публичной корпорации, в том числе за счет возможного самофинансирования)), а также классическое внешнее кредитование на возмездной основе, а в теории – и РЕ для раундов С и D. Вопрос, насколько согласованно работает эта система ОИЭС в новых условиях и как вписывается в СК на разных стадиях роста ТПП, требует анализа.

Обобщая наш опыт двухлетнего участия в Республиканском конкурсе инновационных проектов ГКНТ Беларуси (РКИП), следует отметить, что данный конкурс является старейшим в стране и наиболее реальным шансом наработки опыта именно для начинающих технологических предпринимателей. Здесь имеется реальный чек в размере 22 840 бел. руб. для четырех проектов-призеров, например, реальный для подготовки экспериментальной версии MVP или продуктового прототипа. Есть и другие премии для призеров РКИП – от 1160 до 3440 бел. руб. В 2024 г. в РКИП принял участие 201 ТПП. Вместе с тем разделение проектов только по номинациям «Лучший инновационный проект» и «Лучший молодежный проект» представляется недостаточным по следующим причинам. Так, если при принятых системе оценивания и линейке номинаций до финала доходят находящиеся на разных стадиях развития и раундах финансирования ТПП, то по элементарной логике они не могут сравниваться по характерным для них отличными ключевым показателям эффективности с учетом объективно различной потребности у самих ТПП в этих стартовых (поддерживающих) инвестициях. Очевидно, что для одного ТПП чек на 22 840 бел. руб. – это реальная возможность для прототипирования, а для кого-то – лишь покупка уже 101-го станка.

Реально в финале РКИП встречаются как проекты, находящиеся на стадии самофинансирования, так называемое подтягивание шнурков (от англ. Bootstrapping, что эквивалентно фразеологизмам «затягивание поясов», «голодные времена» в нашей культуре), действительно нуждающиеся в сравнительно небольших внешних и предпочтительно безвозвратных целевых вложениях для решения вопросов ранних этапов (прототипирование продукта, доформирование команды, лизинг недостающих команде компетенций), так и организации уже с солидными собственной производственной базой, финансовыми ресурсами, профкомпетенциями и с запущенным в серию производством представляемого на конкурс инновационного продукта. Цель у таких участников-новичков – не получение как такового поддерживающего чека РКИП на конкретные задачи развития или объективно необходимой поддержки проекта, а, скорее, продвижение имиджа, реклама нового, уже фактически запущенного (состоявшегося) в серию, пусть и действительно инновационного, ТПП. В этой ситуации ТПП ранних этапов (реально нуждающиеся в поддержке)

фактически выполняют функцию массовки, а результат их участия в РКИП – лишь демотивация команды от гарантированного провала.

Следует отметить, что для отечественных стартапов, находящихся на ранних стадиях проработки идеи, создания и тестирования прототипа продукта, есть альтернативные РКИП-проекты, например, в виде конкурсов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ)⁸. Здесь предусмотрено безвозмездное финансирование, но при этом величина чеков конкурсов БРФФИ существенно меньше. Эта сумма в лучшем случае достаточна для теоретической проработки вопроса, качественной экспертизы патентной чистоты идеи⁹. Безусловно, начинающему предпринимателю на «голодной» стадии самофинансирования при прохождении проектом «долины смерти» безвозмездная финансовая помощь любой величины значима. Участие в конкурсе академического формата типа БРФФИ тем более будет полезным для осмысления и теоретической проработки той же СК. Но этот материал, прежде всего, – про финансовые возможности в условиях ВЭО.

Научно-технические парки белорусских университетов периодически генерируют схожие (как по сути, так и по ресурсному потенциалу) с РКИП конкурсы, но ориентированные именно на студенческие (что исключительно важно) ТПП, т. е. на очень ранней стадии проверки гипотезы/идеи ТПП: «Пинск Инвест Уикенд» от Полесского государственного университета (2024 г. и ранее); «Бизнес-генерация – 2024» от БрГТУ, Startup BootCamp и акселерационная программа Space University от БГУ (2023), «Инновационная инициатива – 2023» в рамках форума «Беларусь–Китай: мост для инноваций 2023» от БНТУ и Мингорисполкома (2023), «Медэлектроника» IT HUB от БГУИР и Innowise Group (2022) и др. Так, НТП БНТУ «Политехник» представляет для ТПП возможности как непосредственного финансирования (чеки призовых грантов по 2000, 5000 и 10000 бел. руб.), так и косвенную поддержку (преимущественно в форме допуска ТПП к технической базе лаборатории быстрого прототипирования Фаблаб)¹⁰. На фоне платных услуг одного из ведущих частного оператора ОИЭС по прототипированию – <http://инката.бел> – для студенческого ТПП – это большой выигрыш.

Однако все эти инициативы не сравнимы с ролью РКИП для ТПП именно ранних этапов. Таким образом, ТПП с реально созданным производством и продажами представляется более логичным направлять на поиск больших ресурсов под задачи их продвинутого этапа развития («ранний рост» или «расширение»: масштабирование производства, освоение новых рынков, совершенствование/доработка продукта и производственных процессов, развитие и дополнение команды), а не на РКИП со скромным для их потребностей чеком. Например, в том же Белинфонде, кроме РКИП, предусмотрены ресурсы, программы поддержки проектов для более продвинутых стадий развития через финансирование опытно-конструкторских работ технологических предпринимателей уже действующих инновационных проектов (конструкторско-технологические работы, направленные на совершенствование продукта) путем участия в конкурсах на получение безвозвратных инновационных ваучеров и грантов (чеки – в эквиваленте до 25 000 и 100 000 долл. соответственно)⁵.

Именно для ТПП, находящихся на стадиях развития производства «ранний рост» и/или «экспансия» уже выведенного на рынок Беларуси и другие рынки продукта, более логичным представляется участие в Конкурсе инвестиционных проектов, проводимом Белорусским фондом финансовой поддержки предпринимателей среди субъектов малого предпринимательства по оказанию государственной финансовой поддержки в следующих формах: заем (предоставление денежных средств на возвратной возмездной основе) и лизинг имущества (предоставление имущества на условиях финансовой аренды). Условия этих вариантов (пусть и возвратного возмездного) финансирования фондом для инновационных проектов имеют реальные признаки льготных¹¹. Для финансирования в республике мероприятий уже начавших работать инноваци-

⁸ Действующие конкурсы [Электронный ресурс] / Белорусский респ. фонд фонд. исслед. Минск, 2024. Режим доступа: https://www.fond.bas-net.by/conc_.html. Дата доступа: 11.11.2024.

⁹ Информационные ресурсы [Электронный ресурс] / Респ. науч.-технич. биб-ка. Минск, 2024. Режим доступа: <https://rlst.by/informational-resources/>. Дата доступа: 11.11.2024.

¹⁰ Конкурс стартап-проектов БНТУ: макетная мастерская – маленькая жизнь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bntu.by/be/news/6114-maketnaya-masterskaya>. Дата доступа: 11.11.2024.

¹¹ Государственная финансовая поддержка: о конкурсе // Белорусский фонд финансовой поддержки предпринимателей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belarp.by/ru/state-help/gosfond/competitions>. Дата доступа: 28.02.2024.

онных ТПП (как с крупным высокотехнологичным производствам, так и инновационно ориентированным предприятиям малого и среднего бизнеса, в том числе в стадии становления корпоративного предпринимательства) также функционирует Конкурс инновационных проектов (работ, мероприятий), проводимый инновационным фондом Мингорисполкома для субъектов хозяйствования г. Минска и облисполкомов Беларуси. За время существования этого фонда профинансированы 50+ проектов на общую сумму более 479 млн бел. руб., в том числе в области микроэлектроники, приборостроения, фармацевтики, IT, биотехнологий, робототехники и создания 3D-принтеров. Бюджет фонда формируется ежегодно и составляет порядка 50 млн долл.¹². Именно этот конкурс имеет соответствующее задачам стадии развития производства расширение размера чека и ориентирован по следующим направлениям:

- инновационные проекты, выполняемые в рамках государственной программы инновационного развития Республики Беларусь;
- научно-исследовательские, опытно-конструкторские и опытно-технологические работы, обеспечивающие создание новой продукции, новых (усовершенствованных) технологий, новых услуг для Беларуси;
- организация деятельности и развития материально-технической базы, включая капитальные расходы, субъектов инновационной инфраструктуры, указанных в п. 3 Положения о порядке создания субъектов инновационной инфраструктуры, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 3 января 2007 г. № 1;
- развитие материально-технической базы, включая капитальные расходы, отраслевых лабораторий;
- проведение научных и научно-практических конференций, семинаров, симпозиумов, выставок научно-технических достижений, подготовка и издание научно-технической и научно-методической литературы.

Средства инновационного фонда Мингорисполкома выделяются:

- организациям, имущество которых находится в коммунальной собственности, хозяйственным обществам, акции (доли в уставных фондах) которых находятся в коммунальной собственности;
- научным, проектным и конструкторским организациям Беларуси вне зависимости от их подчиненности;
- организациям Республики Беларусь без ведомственной подчиненности;
- иным организациям Беларуси, являющимся плательщиками налога на прибыль в бюджет г. Минска, иных областей в конкурсах соответствующих облисполкомов Республики Беларусь¹³.

В 2023 г. инновационный фонд Мингорисполкома профинансировал инновационные ТПП 18 коммерческих организаций на сумму около 280 млн бел. руб.¹⁴. Инновационные и быстрорастущие проекты, вышедшие на стабильные объемы продаж, т. е. соответствующие критериям венчурной истории стадии «раннего роста», могут рассчитывать на внимание подведомственного (в белорусской его части) ГКНТ Российско-Белорусского фонда венчурных инвестиций RBF Ventures (rbf.vc). Условия финансирования здесь следующие: регистрация организации в Беларуси или России, вхождение фонда в уставный капитал компании (возможно применение конвертируемого займа и/или других инструментов венчурного финансирования); целевая доля фонда – от 10 до 40 %; объем инвестиций в одну компанию – до 140 млн рос. руб. (в зависимости от стадии). Чек RBF Ventures для ТПП венчурной стадии составляет до 25 млн рос. руб. (выручка компании за предшествующий год – не более 10 млн рос. руб.; доля совместного частного инвестора – не менее 25 %), а для стадии «раннего роста» – до 140 млн рос. руб. (выручка компании за предшествующий год – от 10 до 300 млн рос. руб.)¹⁵.

¹² Кто и на каких условиях может претендовать на финансовую поддержку из инновационного фонда Мингорисполкома [Электронный ресурс] // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: <https://pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2019/june/36269/>. Дата доступа: 11.11.2024.

¹³ Инновационный фонд // Бизнес-портал Минска [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://invest.minsk.gov.by/ru/pomoshch-biznesu/innovatsionnyj-fond>. Дата доступа: 11.11.2024.

¹⁴ Мингорисполком в 2023 году профинансировал инновационные проекты 18 организаций [Электронный ресурс] // БЕЛТА. Режим доступа: <https://belta.by/regions/view/mingorispolkom-v-2023-godu-profinansiroval-innovatsionnye-proekty-18-organizatsij-621261-2024/>. Дата доступа: 14.11.2024.

¹⁵ Российско-Белорусский фонд венчурных инвестиций [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rbf.vc/>. Дата доступа: 28.02.2024.

Таким образом, рассмотрены наиболее заметные субъекты инфраструктуры ОИЭС, ключевые концепты и их содержание, что позволяет сделать выводы и заключение об их месте и потенциале при реализации СК на разных этапах развития и раундах финансирования ТПП во впервые для белорусских ТПП проявившихся текущих условиях ВЭО.

Результаты исследований и их обсуждение

Обобщая результаты исследования, можно отметить, что в Беларуси существует достаточно развитый государственный сегмент ОИЭС для финансовой поддержки инновационных ТПП. Вместе с тем анализ показал отсутствие упорядоченного характера взаимодействия субъектов ОИЭС, согласованного по этапам развития ТПП, что отражается на эффективности ее функционирования в целом и специфически в сегменте ТПП ранних стадий. Совершенствование видится через налаживание преемственности в деятельности субъектов инфраструктуры ОИЭС по этапам развития ТПП. В фокусе обозначенной ситуации, сравнительного анализа, функционирования субъектов ОИЭС наиболее позитивным примером отечественной практики, ориентированной на поддержку проектов самых ранних стадий и малого инновационного предпринимательства, представляется конкурсная (акселерационная) программа «Стартап-марафон», проводимая ОАО «Белагропромбанк»:

– с выделением пяти вполне конкретных отраслевых номинаций (AgroTech – технологии в сельском хозяйстве; Creative – цифровые технологии в медиа, дизайне, культуре и др.; Fintech – финансовые технологии, сервисы и электронная коммерция; TechNet – передовые производственные технологии; MedTech – передовые и цифровые технологии в медицине) и чеком в 500 базовых величин для каждой;

– с разделением проектов по признаку стадий развития на три уровня сообразно соответствующим их этапам задачам:

- обладатели стартап-идеи (стадия Pre-Seed), как правильно запустить стартап;
- разработчики инновационных технологий (стадия Seed), как построить бизнес-модель и просчитать экономическую эффективность своего продукта;
- действующие стартап-проекты (стадия Alpha), как разработать эффективную презентацию ТПП для получения дополнительных инвестиций;

– с определением трех функциональных этапов конкурсной программы:

- образовательный этап (экономика, менеджмент, основы права, предпринимательской деятельности для инженеров);
- акселерационный этап (полуфинал: рассмотрение экспертами конкурса стартап-проектов, их оценка, выбор 20 проектов, прошедших в финальный этап);
- республиканский DemoDay (финал: питч-сессия проектов перед реальными инвесторами)¹⁶.

Еще один установленный актуальный ресурс для поддержки ТПП самых ранних стадий – это профильные для проблематики ТПП ивенты отечественных университетов (конкурсы стартап-проектов, акселерационные программы и научно-технические конференции БГУ, БГУИР, БНТУ, БрГТУ, ПолесГУ и др.). Анализ их реализации показал, что далеко не всегда они имеют системный, логически заверченный характер. Требуются их дополнительное изучение, упорядочение и масштабирование. Потенциал программ университетов сегодня остается нераскрытым.

Характеризуя практику РК ИП Белифонда и ГКНТ, как наиболее важного в масштабах республики, самого опытного в стране, декларирующего ориентацию на поддержку именно стартап-движения, т. е. ТПП ранних стадий и малого технологического предпринимательства, следует отметить целесообразность продолжения начатой его администрацией работы по более точному разделению проектов по соответствующим их отраслевой принадлежности номинациям, но что еще более существенно – сегментации номинаций по признаку стадии развития ТПП. Это позволит убрать из финала прецеденты конкуренции между объективно не сравнимыми ТПП на разных стадиях развития.

¹⁶ Стартап-марафон. Республиканская конкурсная программа ОАО «Белагропромбанк» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belapb.by/malomu-i-srednemu-biznesu/ekosistema-belagroprombanka/startap-marafon/>. Дата доступа: 11.11.2024.

При создании инновационных продуктов в форме программно-аппаратных комплексов с использованием мобильных приложений, генерирующих, кроме коммерческого эффекта, еще и социальную составляющую, при разработке их СК (для более четкой настройки проекта по тактическим задачам) нужно рассматривать возможность разделения концептов «пользователи» и «клиенты». В то же время функции организаций, выступающих в качестве потенциальных стратегических партнеров и стратегических инвесторов, могут в некоторых бизнес-моделях совпадать или вступать в эффективную коллаборацию.

Заключение

1. При функционировании национальной экономики в целом и сферы технологического предпринимательства в частности в условиях внешних экономических ограничений (ВЭО) следует понимать объективное повышение роли именно государственных субъектов отечественной инновационной экосистемы (ОИЭС), а также ожидать изменения традиционного отношения локального технологического предпринимательства к государственному финансированию как к токсичному. При сокращении активности частных субъектов ОИЭС логично ожидать повешения спроса со стороны технологического предпринимательского проекта (ТПП) на предложения государственного сектора, а, соответственно, и значимости выполняемых ими социально-экономических функций в текущих условиях политического кризиса как в регионе, так и ВЭО. Обоснована необходимость четкого и глубокого понимания начинающими технологическими предпринимателями структурирования и детальной разработки системы концептов стратегии коммерциализации, их конструктивного наполнения. Это является ключевой составляющей выхода отечественных ТПП на показатели истории успеха в текущих условиях экономических ограничений.

2. Получена характеристика текущего состояния ОИЭС, функционирующей в условиях ВЭО. На ее основе предлагаются рекомендации для ТПП по эффективному использованию ресурсов основных имеющихся сегодня субъектов ОИЭС для конкретного этапа развития инновационного проекта: от поиска зерна (от англ. Bootstrapping – голодный период, раунд самофинансирования); проращивания зерна (от англ. Pre-seed – предпосев); высевания зерна в грунт (от англ. Seed – посевная/посев зерна/зерно) и до прорастания зерна/ростка (или непосредственно того самого Start-Up-раунда) – здесь запуск или выход на уровень безубыточности. А далее уже: зацветание ростка (от англ. Early Growth – ранний, быстрый рост) на раундах финансирования *A* и *B* (здесь малый бизнес с венчурной историей или хорошо коммерциализируемая интеллектуальная собственность); плодоношение молодого (взрослеющего) растения (от англ. Expansion – стабильный средний бизнес и его расширение) на раунде финансирования *C*; вызревание плодов (от англ. Mezzanine – состоявшийся крупный непубличный бизнес с корпоративной моделью управления, его надстройка) на раунде внешнего финансирования *D*. Поздние этапы развития ТПП таковы: сбор и переработка урожая путем первичной публичной продажи акций (от англ. Initial Public Offering) (здесь выросший ТПП до публичной корпорации) и вторичного публичного предложения акций (от англ. Secondary Public Offering) (здесь инновационная публичная (акционерная) компания). Перечисленные поздние этапы рассматриваются как предметы последующих отдельных исследований и развития затронутой проблематики.

Список литературы

1. Financing Innovative Development: Comparative Review of the Experiences of UNECE Countries in Early-Stage Financing // United Nations. Economic Commission for Europe. NY, Geneva, 2007.
2. Runge, W. Technology Entrepreneurship: A Treatise on Entrepreneurs and Entrepreneurship for and in Technology Ventures / W. Runge. Germany: Scientific Publishing of Karlsruhe Institute of Technology, 2014.
3. Экономика инноваций / Под ред. Н. П. Иващенко. М., 2016.
4. Груздева, Е. В. Венчурное финансирование инновационной деятельности / Е. В. Груздева. М., 2017.
5. Strebulaev, I. The Venture Mindset: How to Make Smarter Bets and Achieve Extraordinary Growth / I. Strebulaev, A. Dang. New York: Penguin Random Publishing House, 2024.
6. Sartorelli, D. Startup Smart / D. Sartorelli. Washington, DC: Bureau of International Information Programs United States Department of State, 2019.
7. The Start-up: Handbook. Chicago: University of Illinois, Springfield, 2014.

8. Лапицкая, Л. М. Венчурное финансирование / Л. М. Лапицкая. Минск: Белор. гос. ун-т, 2018.
9. Gerken, L. C. *The Little Book of Venture Capital Investing: Empowering Economic Growth and Investment Portfolios* / L. C. Gerken, W. A. Whittaker. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014.
10. Batterson, L. A. *Building Wealth Through Venture Capital: A Practical Guide for Investors and the Entrepreneurs They Fund* / L. A. Batterson, K. M. Freeman. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2017.
11. European Venture Capital. *The Acceleration Point: Why Now is the Time for European Venture Capital*. Bruxelles, 2016.
12. Шабека, В. Л. Инвестиционная привлекательность технологических стартапов: теория и практика раннего венчурного финансирования / В. Л. Шабека, А. Е. Басалыга. Минск: Белор. нац. технич. ун-т, 2022.
13. Старжинский, В. П. Стартап как основание образовательной экосистемы инновационного университета [Электронный ресурс] / В. П. Старжинский, Д. В. Кравченко // Информационные технологии в политических, социально-экономических и технических системах: сб. матер. науч.-практич. конф. профес.-преп. состава, науч. работ., докторантов и аспирантов, 20 апр. 2023 г. Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/130231>. Дата доступа: 11.11.2024.
14. Способ мониторинга и интеллектуальной диспетчеризации движения автомобилей на скоростной автомобильной магистрали в случае аварии и система для его осуществления: пат. № 20772 Респ. Беларусь / В. П. Старжинский, В. Т. Минченя, А. Э. Паршутто, В. А. Хлебцевич; НЦИС РБ. ГР 09.11.2016 опубл. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2016. № 4.
15. Система мониторинга и интеллектуальной диспетчеризации автомобилей на скоростных автомагистралях: пат. № 1081 Респ. Беларусь / В. П. Старжинский, В. Т. Минченя, А. Э. Паршутто, В. А. Хлебцевич; НЦИС РБ. ГР 01.04.2014 опубл. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2014. № 2.
16. Марахина, И. В. Этапы жизненного цикла стартапа: сущность, признаки, проблемы и пути их предотвращения / И. В. Марахина // Цифровая трансформация. 2021. № 2. С. 21–31.
17. Марахина, И. В. Инвестиционная инфраструктура белорусской стартап-экосистемы: субъекты, проблемы и направления развития / И. В. Марахина // Банкаўскі веснік. 2020. № 7. С. 49–58.

Поступила 05.12.2024

Принята в печать 06.03.2025

Доступна на сайте 10.04.2025

References

1. Financing Innovative Development: Comparative Review of the Experiences of UNECE Countries in Early-Stage Financing (2007) *United Nations. Economic Commission for Europe*. NY, Geneva.
2. Runge W. (2014) *Technology Entrepreneurship: A Treatise on Entrepreneurs and Entrepreneurship for and in Technology Ventures*. Germany, Scientific Publishing of Karlsruhe Institute of Technology.
3. Ivaschenko N. P. (ed.) (2016) *Economics of Innovation*. Moscow (in Russian).
4. Gruzdeva E. V. (2017) *Venture Financing of Innovation Activities*. Moscow (in Russian).
5. Strebulaev I., Dang A. (2024) *The Venture Mindset: How to Make Smarter Bets and Achieve Extraordinary Growth*. New York, Penguin Random Publishing House.
6. Sartorelli D. (2019) *Startup Smart*. Washington, DC, Bureau of International Information Programs United States Department of State.
7. *The Start-up: Handbook* (2014) Chicago: University of Illinois, Spring.
8. Lapitskaya L. M. (2018) *Venture Financing*. Minsk, Belarusian State University (in Russian).
9. Gerken L. C., Whittak W. A. (2014) *The Little Book of Venture Capital Investing. Empowering Economic Growth and Investment Portfolios*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
10. Batterson L. A., Freeman K. M. (2017) *Building Wealth Through Venture Capital: A Practical Guide for Investors and the Entrepreneurs They Fund*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.
11. European Venture Capital. *The Acceleration Point: Why Now is the Time for European Venture Capital* (2016) Bruxelles.
12. Shabeka U. L., Basalyga A. E. (2022) *Investment Attractiveness of Technology Startups: Theory and Practice of Early Venture Financing*. Minsk, Belarusian National Technical University (in Russian).
13. Starzynski V. P., Kravchenko D. V. (2023) Startup as the Basis of the Educational Ecosystem of an Innovative University. *Information Technologies in Political, Socio-Economic and Technical Systems: Collection of Materials of the Scientific and Practical Conference of the Faculty, Researchers, Doctoral Students and Postgraduates, April 20, 2023*. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/130231> (Accessed 11 November 2024) (in Russian).

14. Starzhinsky V. P., Minchenya V. T., Parshuto A. E., Khlebtsevich V. A. (2016) Method for Monitoring and Intelligent Dispatching of Vehicle Traffic on a High-Speed Highway in the Event of an Accident and a System for Its Implementation. *Patent No 20772 Rep. of Belarus. NCIP Rep. of Belarus State Reg., Publ. 09.11.2016. Official Bulletin. National Center for Intellectual Property, No 4* (in Russian).
15. Starzinski V. P., Minchenya V. T., Parshuto A. E., Khlebtsevich V. A. (2014) Highway Vehicle Monitoring and Intelligent Dispatch System. *Patent No 1081 Rep. of Belarus; NCIP Rep. of Belarus State Reg., Publ. 01.04.14. Official Bulletin. National Center for Intellectual Property, No 2* (in Russian).
16. Marakhina I. V. (2021) Stages of a Startup Lifecycle: Essence, Signs, Problems and Ways to Prevent Them. *Digital Transformation. (2)*, 21–31 (in Russian).
17. Marakhina I. V. (2020) Investment Infrastructure of the Belarusian Startup Ecosystem: Entities, Problems and Directions of Development. *Bankauski Vesnik. (7)*, 49–58 (in Russian).

Received: 5 December 2024

Accepted: 6 March 2025

Available on the website: 10 April 2025

Сведения об авторе

Шабeka В. Л., канд. экон. наук, доц., доц. каф. транспортных систем и технологий, Белорусский национальный технический университет, докторант каф. экономики промышленных предприятий Белорусского государственного экономического университета

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. Якуба Коласа, 12
Белорусский национальный
технический университет
Тел.: +375 29 628-63-77
E-mail: uladzimir@inbox.ru
Шабeka Владимир Леонидович

Information about the author

Shabeka U. L., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Transport Systems and Technologies, Belarusian National Technical University, Doctoral Student at the Department of Industrial Economics of the Belarusian State Economic University

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Yakub Kolas St., 12
Belarusian National
Technical University
Tel.: +375 29 628-63-77
E-mail: uladzimir@inbox.ru
Shabeka Uladzimir Leanidavich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-60-70>

УДК 004.896:637.1

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, ВКЛЮЧАЯ ПРОЦЕССЫ СЕРИАЛИЗАЦИИ И АГРЕГАЦИИ ПРОДУКЦИИ

Я. С. ГУРСКАЯ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. Нововведения в системе обязательной маркировки товаров различных категорий требуют внесения изменений в устоявшиеся производственные процессы. Ежегодно наблюдается рост количества установленных роботизированных систем. Проводятся исследования в области робототехники по новым направлениям. Производственные процессы модернизируются с учетом требований по наличию сериализации и агрегации. В статье приведены детальный анализ и общая схема технологического процесса изготовления продуктов питания молочной промышленности. Рассмотрены производства с применением роботов и обязательным наличием модуля маркировки в процессе выпуска продукции. Детально описаны этапы, связанные с сериализацией и агрегацией групповой тары (коробов/поддонов). Приведены объяснения к разработанным схемам алгоритмов управления, которые иллюстрируют последовательность действий промышленных роботов, необходимых для выполнения операций по сериализации и агрегации.

Ключевые слова: алгоритмы управления промышленными роботами, пищевое производство, маркировка товаров, агрегация, сериализация.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Гурская, Я. С. Алгоритмы управления промышленными роботами в производстве продуктов питания, включая процессы сериализации и агрегации продукции / Я. С. Гурская // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 60–70. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-60-70>.

ALGORITHMS FOR CONTROLLING INDUSTRIAL ROBOTS IN FOOD PRODUCTION, INCLUDING THE PROCESSES OF SERIALIZATION AND AGGREGATION OF PRODUCTS

YANA S. HURSKAYA

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Innovations in the system of mandatory labeling of goods of various categories require changes in established production processes. Every year, there is an increase in the number of installed robotic systems. Research in the field of robotics is carried out in new areas. Production processes are modernized taking into account the requirements for serialization and aggregation. The article provides a detailed analysis and a general diagram of the technological process of manufacturing food products in the dairy industry. Production using robots and the mandatory presence of a labeling module in the process of product release are considered. The stages associated with the serialization and aggregation of group containers (boxes/pallets) are described in detail. Explanations are given for the developed control algorithm diagrams that illustrate the sequence of actions of industrial robots necessary to perform serialization and aggregation operations.

Keywords: industrial robot control algorithms, food production, product labeling, aggregation, serialization.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Hurskaya Y. S. (2025) Algorithms for Controlling Industrial Robots in Food Production, Including the Processes of Serialization and Aggregation of Products. *Digital Transformation*. 31 (1), 60–70. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-60-70> (in Russian).

Введение

Алгоритмы управления промышленными роботами разрабатываются с учетом специфических требований каждого вида производства. В зависимости от поставленных задач, а также с учетом возможных ограничений и особенностей технологических процессов формируются алгоритмы функционирования отдельных звеньев производственных линий. В большинстве случаев возникают ситуации, когда необходимо взаимодействовать с системами, стабильно функционирующими в течение продолжительного времени, однако требующими модернизации в связи с внедрением новых технологий. В частности, несколько лет назад в Республике Беларусь был принят указ, обязывающий производителей товаров различных категорий осуществлять маркировку выпускаемой продукции [1]. Обязательная маркировка товаров – внедренная государством система для мониторинга движения каждого товара и выявления контрафакта посредством нанесения цифровых средств идентификации, запрета оборота без идентификаторов и передачи сведений бизнесом о движении товара [2].

Сериализация – присвоение индивидуального случайного номера, позволяющего обеспечить полный контроль передвижения конкретной единицы товара.

Агрегация – объединение экземпляров готовой продукции в групповую упаковку, как правило, гофрокороба, палеты со штрихкодом стандарта GS1 [3].

Задача научного исследования автора статьи – разработать алгоритмы управления промышленными роботами различных типов на этапах укладки продукции в короба с соблюдением требований по наличию модуля маркировки и выполнения операций сериализации, агрегации. Система управления промышленным роботом, оснащенная модулем маркировки, представляет собой интегрированный робототехнический комплекс, предназначенный для осуществления перемещения единиц готовой продукции от выхода производственной линии к упаковочным коробам и поддонам. В процессе данной операции выполняются процедуры сериализации и агрегации продукции.

Виды роботов

Перемещение и укладка готовой продукции в короба может осуществляться транспортными роботами различных типов, оснащенными захватными устройствами. К таким роботам относятся коллаборативные и фиксированные роботы (SCARA- и дельта-роботы, шарнирные роботы).

Роботы, выполняющие захват и перемещение грузов, отличаются высокой точностью позиционирования, поддержкой сложной траектории перемещения с возможностью выполнять остановки и вращения грузов в нескольких плоскостях (в зависимости от вида робота). Движения манипулятора в различных направлениях позволяют эффективно использовать транспортного робота в системах, где предусмотрены внедрение модуля маркировки, процессы агрегации и сериализации. Модуль маркировки предполагает наличие нескольких камер технического зрения/сканеров штрихкодов, для эффективного функционирования которых важен угол фотографирования продукта, попавшего в рабочую область камеры.

Манипуляторы, установленные на различных моделях транспортных роботов, имеют визуальные отличия, однако их функциональная задача остается одинаковой – захват груза, перемещение его от начальной точки к конечной по заданной траектории, возможность переориентации продукта в пространстве удобным способом и осуществление остановки в процессе транспортировки. Алгоритм работы для различных типов транспортных роботов, оснащенных захватными механизмами, имеет схожую структуру. Поэтому целесообразно разработать единый алгоритм управления для таких роботов.

Конфигурация системы управления промышленным роботом с наличием модуля маркировки представлена непосредственно роботом, контроллером робота, программируемым логическим контроллером (ПЛК), терминалом управления, промышленным компьютером, программатором, системой технического зрения, обособленными сканерами штрихкодов, ведущими устройствами различных типов (Profibus, DeviceNet), печатным оборудованием (принтеры этикеток и единичных кодов, аппликаторы). В системе в качестве устройств ввода/вывода информации выступают промышленный компьютер и терминал управления. Первый представляет собой аналог стандартного персонального компьютера с более высокими показателями производительности, степенью

защиты, скоростью обработки данных. В отличие от терминала управления, промышленный компьютер позволяет запустить на одном устройстве и отобразить на экране несколько программ одновременно: программу учета продукции (типа и характеристики продукции, отчеты о маркировке, коды маркировки для собственной печати на производстве), программу непосредственной маркировки продукции (печать и нанесение элементов маркировки, считывание кодов, сериализация, агрегация, печать этикеток), программу для обмена отчетами между локальной системой предприятия и оператором системы маркировки, программу расширенного управления роботом и др. Терминал управления отображает только фиксированные окна для действий с роботом: стартовое окно режимов робота, окно настроек параметров робота, журнал ошибок, аварийные кнопки старт/стоп.

Система управления промышленными роботами объединяет несколько управляющих программ: программу контроллера управления – ПЛК, программу контроллера робота, программу маркировки. ПЛК отвечает за корректную передачу сигналов между принимающими устройствами (датчиками) и устройствами, ожидающими управляющий сигнал. Робот, принтер, аппликатор, приводной механизм лопатки делителя на конвейере – каждое из этих устройств может ожидать сигнал управления. Программа контроллера робота, в свою очередь, выполняет задачи по отдельной разработанной программе (непосредственное управление роботом), передает и согласует сигналы только между элементами робота. Связь с программируемым контроллером системы маркировки осуществляется лишь по заранее выделенным, фиксированным входам/выходам. Программа маркировки – программа верхнего уровня, имеет сложный графический интерфейс, визуально понятный пользователю (оператору, мастеру цеха), выступает в качестве источника задающих сигналов для робота, системы технического зрения, печатного оборудования.

Алгоритмы управления промышленными роботами

В процессе проведенного исследования с учетом информации о практических примерах производственных линий разработаны алгоритмы управления промышленными роботами на предприятиях по выпуску пищевой продукции при наличии процессов сериализации и агрегации. Были выполнены следующие задачи.

Анализ технологического процесса производства и упаковки молочной продукции, выбор транспортного робота подходящего типа для упаковки различных групп молочных товаров. Процесс производства молочных продуктов состоит из отдельных технологических операций. В исследовании уделялось внимание процессам, связанным с упаковкой и маркировкой готовой продукции: упаковка товара, нанесение унифицированного контрольного знака (кода маркировки), проверка кода (качество печати, актуальность кода), агрегация продукции в короба и поддоны, формирование отчета о нанесении кодов маркировки. Общий вид технологического процесса производства, упаковки и маркировки товаров молочной промышленности представлен на рис. 1.

В зависимости от производимой группы молочных продуктов различаются методы упаковки единицы товаров, агрегации штучной продукции в короба и в дальнейшем – сбор коробов в поддоны. Руководствуясь требованиями производственных процессов, подбираются подходящие типы роботов для работы на соответствующих линиях. Так, коллаборативный робот применим на линиях, где отсутствует конструктивная возможность близкого расположения готовой продукции и коробов для упаковки. Радиус рабочей зоны робота – от 700 до 900 мм, количество узлов – 6 шт., угол поворота шарниров варьируется от 180° до 360° в нескольких плоскостях, скорость поступления готовой продукции невысокая – до 10 шт./мин [4]. Перечисленные показатели позволяют коллаборативному роботу перемещать готовую продукцию по сложной траектории, выполняя промежуточные шаги для сканирования штрихкодов, поворачивать продукцию в нескольких плоскостях для доступа к коду маркировки (например, если код маркировки на готовой продукции располагается на нижней части упаковки, на дне). На заключительном этапе робот может складывать отсканированную продукцию в короба, удаленные на некоторое расстояние от исходной точки выхода готовых товаров.

SCARA-робот устанавливают на линии с более высокой производительностью, по сравнению с линиями, где размещен коллаборативный робот. Короба и готовая продукция расположены на малом расстоянии друг от друга, код маркировки нанесен на готовую продукцию всегда в фиксированном месте (на боковую часть упаковки) и доступен для сканирования.

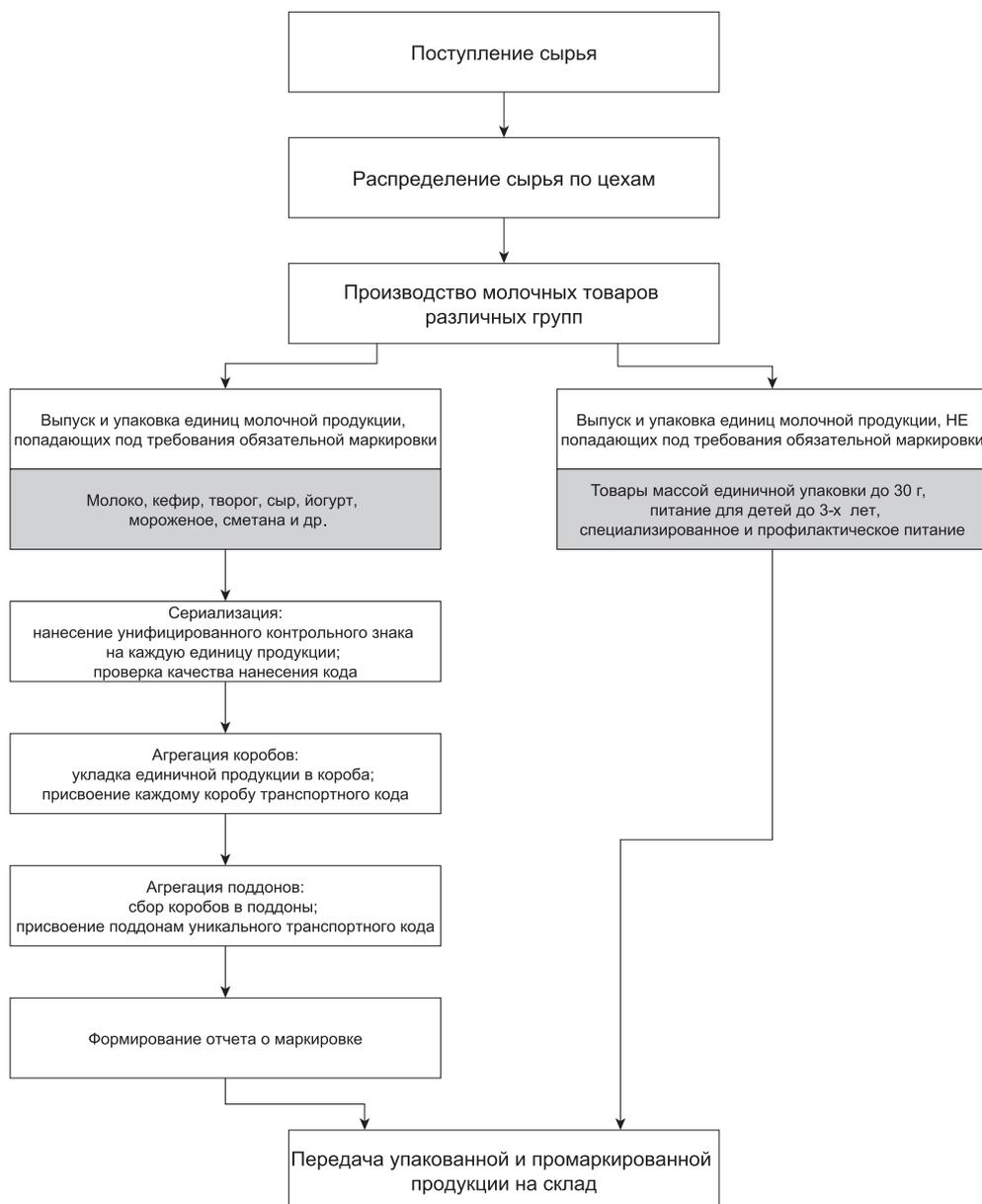


Рис. 1. Технологический процесс производства, упаковки и маркировки товаров молочной промышленности

Fig. 1. Technological process of production, packaging and labeling of dairy products

Радиус действия робота в зависимости от модели – от 120 до 1200 мм, количество узлов – 4 шт., угол поворота шарниров: ось X – $\pm 132^\circ$, ось Y – $\pm 150^\circ$, ось R – $\pm 360^\circ$, подъемный штек (манипулятор) движется по вертикальной оси, скорость поступления готовой продукции – до 40 шт./мин [5].

Дельта-робот – это манипулятор, у которого выходное звено имеет три поступательные степени свободы. Рабочее звено у него соединено с неподвижным основанием тремя независимыми кинематическими цепями. Высокая скорость манипулирования дельта-робота достигается за счет расположения тяжелых приводов на неподвижном основании, а также исполнения подвижных звеньев механизма из легких материалов (зачастую композитных). Дельта-роботы устанавливаются на линиях, где предполагается автоматическая упаковка продукции в короба специальными машинами. Рабочий диапазон манипулятора в зависимости от модели – от 800 до 1500 мм, грузоподъемность – от 3 до 35 кг, что позволяет роботу беспрепятственно перемещать собранные короба с продукцией из зоны маркировки в зону палет.

Построение конфигурации системы управления роботом с взаимным расположением элементов системы согласно наличию модуля маркировки. Системы технического зрения (камеры)

и сканеры штрихкодов являются центральными элементами модуля маркировки. Унифицированные контрольные знаки (коды маркировки) поступают в систему маркировки для дальнейшей обработки после выполнения ряда фотографий камерами технического зрения и сканерами штрихкодов. Качество снимка и скорость фотографирования во многом зависят от внешних факторов: освещения, цвета упаковки, достаточного фокусного расстояния, эргономичного расположения оборудования, защиты от пыли/влаги и др. При проектировании системы решается задача оптимального расположения оборудования для достижения максимально высоких показателей качества печати. Система технического зрения, выполняющая функцию выявления соответствия между типами заданной продукции и произведенной на линии, устанавливается непосредственно после участка по изготовлению готовой продукции. Конвейер, по которому осуществляется перемещение готовых изделий, соединяется с рабочей зоной модуля маркировки. При установке камер соблюдаются требования по защите от пыли и влаги.

Сканер штрихкодов, предназначенный для учета унифицированных контрольных знаков, следует размещать в непосредственной близости к зоне упаковки продукции. Процесс работы требует, чтобы каждая единица продукции была поднесена к сканеру штрихкодов. Данное устройство выполняет фотографирование кода маркировки на продукции, в результате чего полученные данные сохраняются в системе маркировки. Важно учитывать, что сканер штрихкодов должен находиться в пределах досягаемости промышленного робота, при этом требуется обеспечить достаточную яркость освещения и исключить риск повреждения сканера подвижными элементами робота.

Изучение программного обеспечения для приема и обработки кодов маркировки, согласование работы программы промышленного робота. Программное обеспечение модуля маркировки представлено несколькими отдельными программами, где каждая отвечает за определенные функции:

- хранение данных о продуктах, работа с отчетами, учет кодов маркировки;
- общие настройки линии, выбор конфигурации, количества и вида подключенных периферийных устройств, настройка доступа к сетевым папкам для обмена отчетами;
- работа непосредственно на производственном участке – прием кодов маркировки (сериализация), формирование коробов и поддонов (агрегация), печать этикеток короба/поддона (при соответствующих настройках), ручные функции (агрегация, разагрегация, повторная печать, удаление).

Параметры в каждой программе могут изменяться, при этом алгоритм управления роботом подстраивается под параметры и гарантирует корректную работу при любых настройках модуля маркировки.

Практическая реализация алгоритмов управления роботами

Алгоритмы управления промышленными роботами на пищевых производствах с модулем маркировки предусматривают наличие однотипных шагов, отвечающих непосредственно за процессы сериализации и агрегации. Рассмотрим практическую реализацию алгоритмов управления роботами в технологических процессах. Так, герметичные упаковки с готовой единичной продукцией после выхода из предшествующей части производственной линии попадают на конвейер, по которому перемещаются в зону маркировки к позиции взятия их роботом. Перед началом цикла работа выполняется проверка наличия пустой тары для укладки продукции в короба, а также соответствия типу пришедшей по конвейеру готовой продукции и данных, указанных в программе маркировки. При успешных результатах проверки соответствия параметрам осуществляется процесс сериализации, алгоритм которого представлен на рис. 2.

Нанесение унифицированного контрольного знака на единичную продукцию может выполняться на разных этапах производства: код наносится на упаковку продукции типографским методом, т. е. упаковка поступила на завод уже с напечатанными кодами; код наносится на упаковку термотрансферным принтером непосредственно перед упаковкой продукции; аппликатор/принтер-аппликатор наносит этикетки с кодами на продукцию после упаковки. Алгоритм управления роботом для процесса сериализации может включать этапы, связанные с нанесением унифицированного контрольного знака только в случае использования на линии аппликатора/принтера-аппликатора.

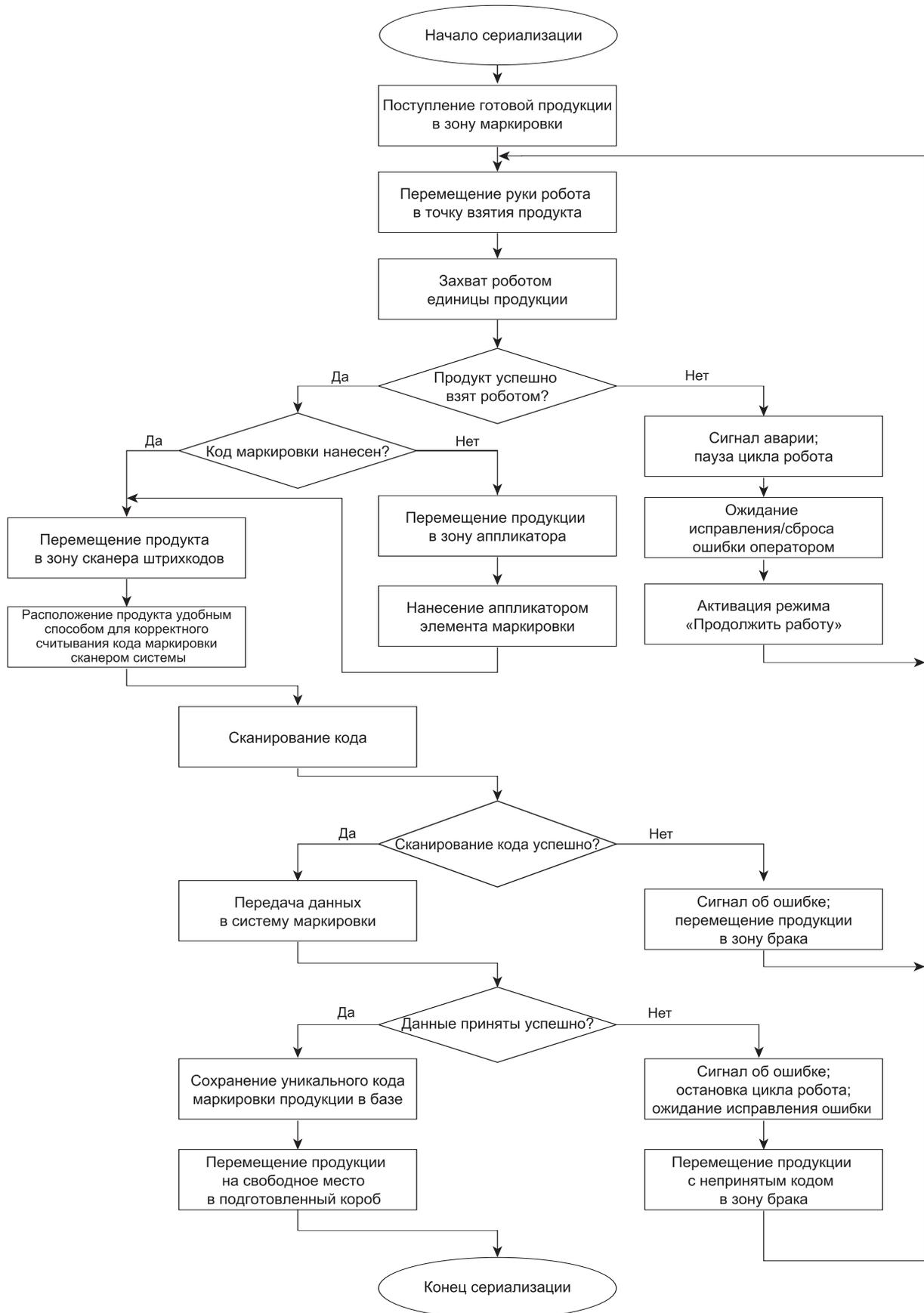


Рис. 2. Алгоритм процесса сериализации продукции
Fig. 2. Algorithm of the product serialization process

Робот при помощи захватов специального типа берет единицу готовой продукции с позиции взятия, подносит ее к позиции аппликации, где производится наклейка этикетки с кодом маркировки. Затем робот перемещает промаркированный товар мимо сканера штрихкодов к позиции наполнения короба. Сканер штрихкодов осуществляет сканирование кода и определение класса качества печати. Если сканирование кода произошло неудачно, либо код не соответствует номеру партии (или иным заданным характеристикам), продукция помещается на позицию брака. В случае удачного сканирования и соответствия кода всем заданным характеристикам продукция опускается в короб на свободное место, а отсканированный код маркировки записывается в базу данных. Подвижный механизм рука робота направляется к позиции взятия за следующей единицей продукции.

Цикл нанесения и проверки кода маркировки, укладки готовой продукции в короб повторяется до условия наполнения короба нужным количеством единичной продукции. Алгоритм агрегации продукции в короба приведен на рис. 3.

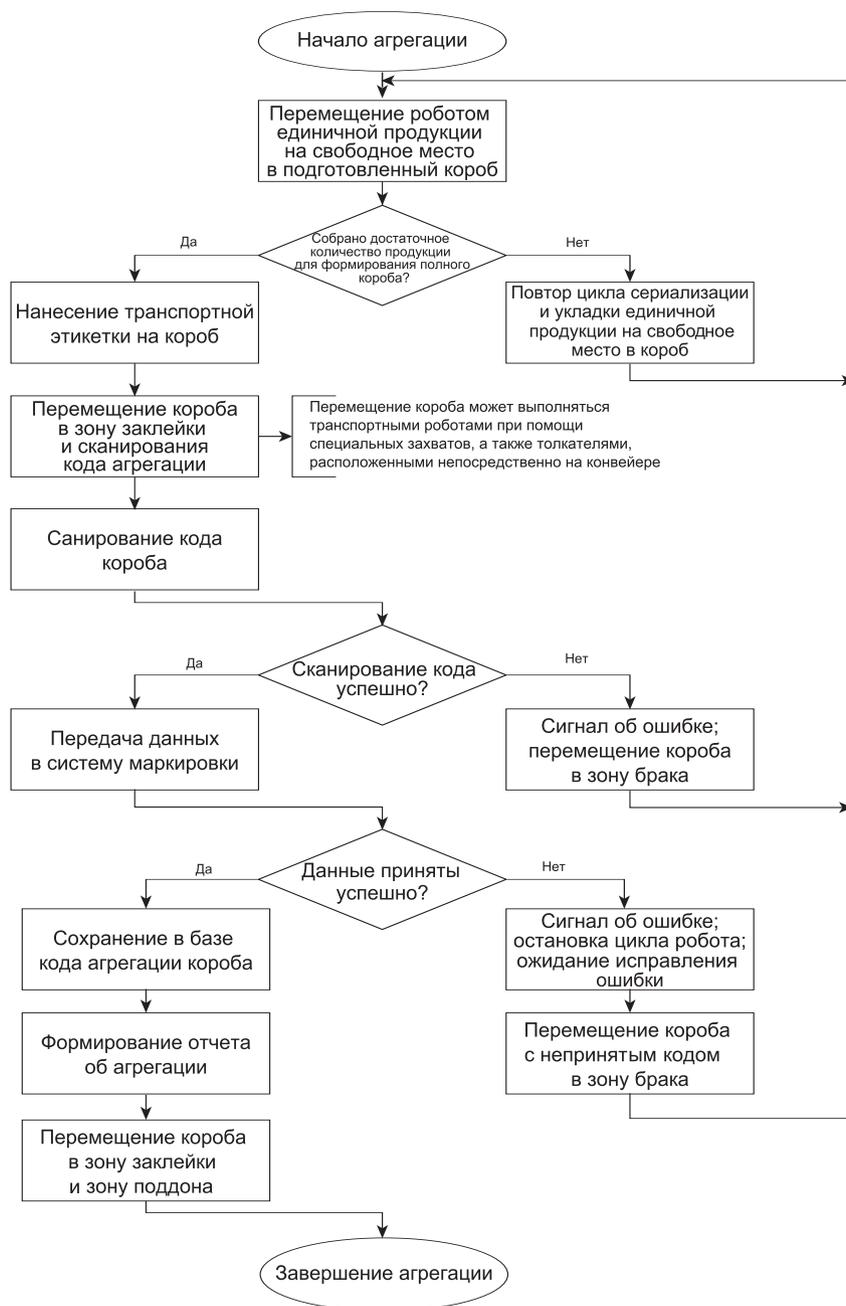


Рис. 3. Алгоритм агрегации продукции в короба
Fig. 3. The algorithm of aggregation of products into boxes

Когда завершается сбор короба, происходит сохранение в базе данных системы маркировки всех отсканированных кодов единичной продукции и присвоение кода агрегации. Код агрегации короба (транспортный код) может генерироваться и печататься системой маркировки, либо принимается сторонний код. После нанесения на короб этикетки с транспортным кодом сканер штрихкодов считывает код и заносит его в базу данных, сохраняя информацию о всех единичных кодах маркировки, входящих в состав короба.

Подача пустых упаковочных коробов в рабочую зону осуществляется автоматически транспортером либо в зависимости от оснащения линии вторым роботом, отвечающим за перемещение заполненных коробов. Когда короб на рабочей позиции полностью заполнится готовой продукцией, транспортер автоматически вытолкнет его вбок и затолкнет на освободившееся место пустой короб. Или второй робот возьмет короб, переместит в зону заклейки и сканирования кода агрегации, затем разместит его на поддоне, а после укладки заполненного короба на поддон переместит пустой короб на заданное место.

Процесс агрегации коробов в поддоны происходит схожим образом с процессом агрегации продукции в короба. Агрегационный код короба выступает аналогом унифицированного контрольного знака единичной продукции. Транспортный код поддона (код агрегации поддона) формируется на основе информации о коробах, входящих в поддон. После завершения сбора поддона последнему присваивается код агрегации, сканер считывает сформированный код, в систему маркировки поступает информация о всех собранных поддонах, коробах и вложенной продукции. Формируется отчет о маркировке, который в дальнейшем отправляется оператору маркировки.

Разработанные алгоритмы управления промышленными роботами могут быть реализованы на оборудовании различных производителей. Описанная в статье система состоит из оборудования производства OMRON. Программное обеспечение верхнего уровня реализовано при помощи языка программирования C# с использованием базы данных SQL. Управляющая программа коллаборативного робота разработана при помощи программного обеспечения TMFlow и некоторых индивидуальных модулей, написанных на языке программирования Python. В качестве среды разработки для SCARA-робота выступало программное обеспечение ACE (Automation Control Environment).

Преимущества разработанных алгоритмов управления роботами

Разработанные алгоритмы управления промышленными роботами в первую очередь ориентированы на применение в производственных процессах, требующих соблюдения этапов сериализации и агрегации продукции. Новизна алгоритмов заключается в их способности обеспечивать использование промышленных роботов на производствах продуктов питания при строгом соблюдении процессов маркировки, рассмотренных в статье. Несмотря на то что промышленные роботы уже длительное время применяются для выполнения различных операций, таких как упаковка продукции, укладка в групповую тару и транспортировка, многие предприятия не предусматривают этапы сериализации и агрегации в своих процессах.

Разработчик и интегратор программно-аппаратных комплексов для решения задач прослеживаемости, автоматической идентификации и маркировки на промышленных предприятиях компания ID-RUSSIA, описывая возможный алгоритм агрегации, указывает на то, что наиболее трудоемкий процесс агрегации – это учет кодов маркировки товаров, которые в дальнейшем будут собраны в групповую или транспортную тару. Как правило, заранее нельзя определить, в каком порядке и в какие именно короба будет собрана готовая продукция на производственной линии. Поэтому перед агрегацией необходимо считать и запомнить коды маркировки единичного товара, что можно сделать до агрегации или непосредственно после нее, считав коды единичной продукции сразу со всех товаров упаковки. Последний способ проще, но при этом продукция в упаковке должна позволять считывание кода с каждого ее элемента. Однако такое невозможно при нанесении кода на боковую поверхность упаковки товара – он будет перекрыт или соседними упаковками, или материалом короба. Поэтому при выборе способа печати и места нанесения кода маркировки важно учитывать способ ее дальнейшей агрегации [6].

Рассматриваемые алгоритмы управления промышленными роботами предусматривают сканирование кодов маркировки единичной продукции до этапа агрегации, при этом метод нанесения унифицированных контрольных знаков может варьироваться так же, как и расположение

кодов маркировки на упаковке. Существует несколько методов нанесения унифицированных контрольных знаков. Во-первых, прямая печать кодов маркировки на продукции непосредственно в процессе производства и упаковки. Данная методика предполагает использование принтера, установленного на производственной линии, который наносит унифицированные контрольные знаки на продукт до зоны действия робота. Во-вторых, можно использовать принтер-аппликатор для нанесения кодов маркировки в области работы робота, где упакованный продукт, не имеющий унифицированных контрольных знаков, поступает в зону функционирования манипулятора. Алгоритм управления роботом обеспечивает проверку наличия маркировки, и при необходимости принтер-аппликатор наносит коды. В-третьих, существует предварительная печать кодов маркировки на типографском оборудовании, где унифицированные контрольные знаки наносятся на упаковку заранее, что исключает возможность их нанесения непосредственно на заводе-изготовителе. В данном случае процесс сканирования унифицированных контрольных знаков аналогичен сканированию, осуществляемому после прямой печати на этапе производства. Однако такой метод ограничен отсутствием возможности оперативного изменения данных на упаковке и модификации видов кодов маркировки по мере необходимости.

В соответствии с функционированием алгоритма управления промышленными роботами процесс сканирования кода маркировки на единичной продукции осуществляется с помощью манипулятора робота, который переориентирует продукт таким образом, чтобы его подходящая сторона с нанесенным кодом маркировки была направлена к сканеру штрихкодов. Данный подход позволяет наносить унифицированные контрольные знаки в любом удобном месте упаковки.

Компания ID-RUSSIA обращает внимание, что при групповом считывании важно понимать, каким образом будет решаться задача контроля и валидации нанесенных кодов маркировки. Если эту операцию выполнять после агрегации, то отбраковку товаров с нечитаемыми кодами (брак печати или нанесения) возможно произвести только вместе со всем содержимым упаковки. Проверка качества печати кодов маркировки – важный этап, поскольку нельзя производить дальнейшие операции с нечитаемым кодом маркировки. Поэтому валидацию и отбраковку нечитаемых кодов технологически проще выполнять до агрегирования товаров, например, сразу после нанесения кода маркировки на продукцию [6].

Представленные в статье алгоритмы управления предполагают проверку качества печати и нанесения кодов маркировки на единичную продукцию и отбраковку некачественных экземпляров до этапа агрегации, что позволяет значительно сократить расходы на перегруппировку и повторную агрегацию хорошей продукции, которая была отбракована «групповым методом считывания». Помимо перечисленных особенностей алгоритмов управления промышленными роботами, можно выделить и другие их преимущества.

1. Несложная интеграция в существующие готовые решения технологических процессов, которые долгое время функционировали по установленным схемам. Последовательность действия промышленных роботов не нарушает привычный ход работы производственных линий, а выступает в качестве дополнительного элемента при выпуске продукции. Внедрение системы управления промышленными роботами, включая процессы сериализации и агрегации продукции, осуществляется на завершающем этапе производственного цикла, когда единичная продукция полностью готова к дальнейшей упаковке в групповую тару и транспортировке к конечному потребителю.

2. Высокая степень адаптивности и применимости для производственных предприятий, занимающихся выпуском разнообразной продукции, включая легкие и хрупкие чипсы, объемные и относительно тяжелые упаковки с соками и бутилированной водой, молочные изделия, такие как сыры, йогурты, молоко, творожные массы. Алгоритмы учитывают особенности производства разного типа продукции, что исключает необходимость создания полностью индивидуализированных алгоритмов для каждого отдельного предприятия, тем самым способствуя сокращению временных затрат на установку и наладку системы. Индивидуальные характеристики производств связаны с различиями в габаритах продукции и групповой упаковки, методах нанесения и расположения кодов маркировки, весе готовой продукции, цвете упаковки, скорости упаковки и в наличии достаточных свободных пространств для размещения системы. Решение указанных нюансов может быть достигнуто посредством грамотного подбора дополнительных аксессуаров для робота вместо разработки новых или изменения существующих алгоритмов управления.

Важно провести выбор подходящего типа робота с учетом его грузоподъемности, уточнить рабочую зону устройства, определить скорость перемещения манипулятора и выбрать соответствующий захватный механизм.

3. Предоставляют возможность одновременной работы с несколькими типами кодов. В частности, двумерный код DataMatrix служит для идентификации единичной продукции и считывается с помощью сканеров штрихкодов или камер технического зрения на этапе сериализации. Линейные коды GS1-128, в свою очередь, наносятся на групповую упаковку (короба и поддоны) и также считываются с использованием камер технического зрения или сканеров штрихкодов, но уже на этапе агрегации. Таким образом, алгоритм управления эффективно применяет различные типы кодов, не требуя разработки отдельных систем управления для робототехнических установок.

4. Формирование отчета с данными об успешно агрегированной продукции при агрегации продукции в групповую упаковку. Алгоритм сериализации предусматривает создание промежуточного отчета о сериализации, данные которого в дальнейшем используются для формирования полного отчета об агрегации. На этапе сериализации информация о продукции, которая успешно промаркирована и принята системой для дальнейшей обработки, поступает в систему управления роботом через камеры технического зрения или сканеры штрихкодов. Промежуточный отчет о сериализации сохраняется в системе управления до формирования окончательного отчета об агрегации. Отчет об агрегации содержит информацию о всех кодах единичной продукции и кодах коробов, в которые данная единичная продукция упаковывалась. При наличии на производственной линии упаковки в палеты отчет об агрегации также содержит информацию о кодах палет с указанием кодов вложенных коробов.

Заключение

1. Представлен технологический процесс производства, упаковки, маркировки товаров молочной продукции (рис. 1), разработаны алгоритмы управления промышленными роботами (рис. 2, 3) на предприятиях по выпуску молочной продукции. Данные получены на основе опыта, приобретенного во время выполнения практических задач по внедрению системы маркировки при соблюдении требований использования промышленных роботов.

2. Алгоритмы управления промышленными роботами могут применяться и адаптироваться под производства пищевой промышленности всевозможных конфигураций с обязательным наличием модуля маркировки. Для реализации алгоритмов используется различное программное обеспечение в зависимости от производителя, марки, серии выпуска робота.

3. Приведенный модуль маркировки является обособленным программным продуктом, системой, которую можно несложно интегрировать в существующие рабочие решения на производствах. Существует ряд требований для корректного и качественного внедрения модуля маркировки, основные на которых относятся к размещению и настройке систем технического зрения, камер и сканеров штрихкодов.

4. Рассмотрены несколько типов транспортных роботов с наличием захватного устройства: коллаборативные и фиксированные (SCARA- и дельта-роботы, шарнирные роботы). Алгоритм управления применим для каждого робота, так как описывает шаги, относящиеся непосредственно к модулю маркировки, без учета особенностей проектирования разных промышленных роботов.

Список литературы

1. О маркировке товаров: Указ Президента Республики Беларусь от 6 января 2021 г. № 9 // Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь, 07.01.2021, 1/19446.
2. Обязательная маркировка товаров на 2025 год [Электронный ресурс] / GETMARK.ru. Mode of access: <https://getmark.ru/blog/o-markirovke/obyazatelnaya-markirovka-tovarov-kod-pravila-ehrapy-sroki/>. Date of access: 10.07.2023.
3. Сериализация и агрегация [Электронный ресурс] / VIDEOJET.ru. Mode of access: <https://www.videojet.ru/ru/homepage/resources/faqs/serialization-and-agregation.html/>. Date of access: 15.07.2023.
4. Спецификация по продукции «Роботы SCARA» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://baltacom.com/catalog/robototehnika/kollaborativnye-roboty/>. Дата доступа: 15.07.2023.
5. Спецификация по продукции «Коллаборативные роботы TM5». Baltacom.com [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://baltacom.com/catalog/robototehnika/scara/>. Дата доступа: 15.07.2023.

6. ИД РАША – агрегация молочной продукции в процессе маркировки [Электронный ресурс] / ID-RUSSIA.ru. Mode of access: <https://id-russia.ru/blog/325-agregatsiya-molochnoj-produktsii/>. Date of access: 18.12.2024.

Поступила 08.11.2024

Принята в печать 10.01.2025

Доступна на сайте 10.04.2025

References

1. About Product Labeling. *Decree of the President of the Republic of Belarus No 9 of January 6, 2021*. National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, 07.01.2021, 1/19446.
2. Andatory Labeling of Goods for 2025. *GETMARK.ru*. Available: <https://getmark.ru/blog/o-markirovke/obyazatel'naya-markirovka-tovarov-kod-pravila-ehrapy-sroki/> (Accessed 10 July 2023).
3. Serialization and Aggregation. *VIDEOJET.ru*. Available: <https://www.videojet.ru/ru/homepage/resources/faqs/serialization-and-aggregation.html/> (Accessed 15 July 2023).
4. Product specification “SCARA Robots”. *Baltacom.com*. Available: <https://baltacom.com/catalog/robototehnika/kollaborativnye-roboty/> (Accessed 15 July 2023).
5. Product specification “TM5 Collaborative Robots”. *Baltacom.com*. Available: <https://baltacom.com/catalog/robototehnika/scara/> (Accessed 15 July 2023).
6. ID RUSSIA – Aggregation of Dairy Products in the Marking Process. *ID-RUSSIA.ru*. Available: <https://id-russia.ru/blog/325-agregatsiya-molochnoj-produktsii/> (Accessed 18 December 2024).

Received: 8 November 2024

Accepted: 10 January 2025

Available on the website: 10 April 2025

Сведения об авторе

Гурская Я. С., асп. каф. систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-86-03
E-mail: arkhipenko.yana.serg@gmail.com
Гурская Яна Сергеевна

Information about the author

Hurskaya Y. S., Postgraduate at the Department of Management Systems, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-86-03
E-mail: arkhipenko.yana.serg@gmail.com
Hurskaya Yana Sergeevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-71-79>

УДК 004.021

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ МНОЖЕСТВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В УЧРЕЖДЕНИЯХ СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Н. И. ЛИСТОПАД, Е. А. БУЩИК

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. В статье рассматривается роль интероперабельности как ключевого элемента цифровой трансформации образования. Выделены три уровня интероперабельности: организационный, семантический и технический, каждый из которых играет важную роль в обеспечении эффективного обмена данными и интеграции бизнес-процессов. Особое внимание уделяется организационному уровню, где оптимизация бизнес-процессов является критически важной для повышения качества образования. Как инструмент для оптимизации бизнес-процессов использована теория множеств, которая позволяет формализовать данные и выявить закономерности, что способствует более глубокому анализу и обоснованному принятию решений. На основе анализа внутренних документов образовательных учреждений разработана схема бизнес-процессов, отражающая деятельность по подготовке специалистов учреждения среднего специального образования. Это обосновывает важность интеграции управленческих, операционных и поддерживающих бизнес-процессов для достижения качественных результатов в образовательной сфере.

Ключевые слова: цифровая трансформация, бизнес-процессы, интероперабельность, информационные системы, теория множеств, образовательный процесс, учреждение среднего специального образования, оптимизация, организационный уровень.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Листопад, Н. И. Применение теории множеств для оптимизации бизнес-процессов в учреждениях среднего специального образования / Н. И. Листопад, Е. А. Бущик // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 71–79. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-71-79>.

APPLICATION OF SET THEORY FOR OPTIMIZATION OF BUSINESS PROCESSES IN SECONDARY SPECIAL EDUCATION INSTITUTIONS

NIKOLAI I. LISTOPAD, ELIZAVETA A. BUSHCHYK

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article examines the role of interoperability as a key element of the digital transformation of education. Three levels of interoperability are identified: organizational, semantic and technical, each of which plays an important role in ensuring effective data exchange and integration of business processes. Particular attention is paid to the organizational level, where optimization of business processes is critical to improving the quality of education. Set theory is used as a tool for optimizing business processes, which allows formalizing data and identifying patterns, which contributes to deeper analysis and informed decision-making. Based on the analysis of internal documents of educational institutions, a business process diagram has been developed that reflects the activities of training specialists of secondary specialized education institutions. This substantiates the importance of integrating management, operational and supporting business processes to achieve high-quality results in the educational sphere.

Keywords: digital transformation, business processes, interoperability, information systems, set theory, educational process, specialized secondary education institution, optimization, organizational level.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Listopad N. I., Bushchyk E. A. (2025) Application of Set Theory for Optimization of Business Processes in Secondary Special Education Institutions. *Digital Transformation*. 31 (1), 71–79. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-71-79> (in Russian).

Введение

В современном мире цифровая трансформация стала ключевым фактором, определяющим успех и устойчивость любой экономической системы общества. Важно отметить, что цифровая трансформация – это не одноразовая инициатива, а непрерывный процесс, требующий постоянного анализа и адаптации к новым технологиям и потребностям общества, что особенно актуально для системы образования [1]. Одним из ключевых аспектов, который влияет на успешность этого процесса, является интероперабельность – способность различных систем и технологий взаимодействовать друг с другом, обеспечивая бесшовный обмен данными и оптимизацию бизнес-процессов. Интероперабельность не только способствует улучшению взаимодействия между различными компонентами информационных систем, но и открывает новые горизонты для интеграции бизнес-процессов. В контексте цифровой трансформации процессов в учреждениях среднего специального образования (УССО) это означает необходимость обеспечения совместимости собственных новых цифровых решений с существующими системами и другими учреждениями.

В основе интероперабельности лежит использование профилей – стандартов информационно-коммуникационных технологий. За основу такого профиля выбрана модель интероперабельности с учетом процессного подхода для УССО [2, 3]. В спроектированной проблемно-ориентированной модели интероперабельности выделены три уровня:

1) организационный, включающий:

– нормативно-правовые акты регламентации организационных вопросов интероперабельности: представляют собой руководящие документы, регламентирующие деятельность учреждения образования на государственном уровне, а также локальные документы, описывающие взаимодействие отделов учреждения образования;

– параметры организационных вопросов интероперабельности и показатели их качества (контекст организации, организационная структура управления, система менеджмента качества, информационное обеспечение, техника управления, имидж);

– параметры жизненного цикла организационных систем (результаты образования: качество обучения, участие в конференциях, конкурсах и т. д., продолжение образования; ресурсное обеспечение: кадровый состав, оснащенность образовательного процесса; конкурентоспособность образовательных услуг: численность контингента обучающихся, дополнительное образование);

– параметры организационной готовности объектов системы к взаимодействию между собой (персонал, интеллектуальный капитал);

2) семантический, формализующий функциональное взаимодействие информационных систем и их элементов на уровне интерпретации смысла информации, которой они обмениваются, включает в себя следующие компоненты:

– концепцию семантической интероперабельности;

– семантическую совместимость взаимодействия (способ управления, стиль руководства);

– адаптивность и гибкость семантической интероперабельности;

– параметры использования терминологии, лингвистических выражений и знаний в узкоспециализированных предметных областях;

– зависимость семантической интероперабельности от поведения и состояния человека, а также его психики;

– параметры бизнес-культуры, влияющие на семантическую интероперабельность;

– параметры семантической интероперабельности человеко-машинных интерфейсов;

3) технический, формализующий интероперабельность на уровне технических средств, аппаратных и программных комплексов, реализующих информационно-управляющие процессы, выполняющих операции ввода, поиска, обработки, хранения, доведения и предоставления информации и инструментов управления. Включает:

– параметры совместимости форматов данных и сообщений;

– параметры совместимости протоколов и интерфейсов обмена информацией в сети, а также требований по качеству обслуживания;

– коммуникационную сеть – единство используемых протоколов, форматов служебных сообщений и иных средств, используемых для организации передачи данных и команд по каналам связи;

- инфраструктуру;
- формирование, поиск, передачу, хранение, обработку и представление информации в вычислительных комплексах;
- параметры информационной безопасности;
- параметры эргономики человеко-машинных интерфейсов;
- параметры технологической готовности объектов системы к взаимодействию между собой.

Рассматривая организационный уровень интероперабельности, необходимо оптимизировать бизнес-процессы для повышения эффективности и конкурентоспособности. Одним из инструментов, способствующих решению этой задачи, является теория множеств. Эта математическая концепция, изучающая свойства и отношения между множествами, находит широкое применение в различных областях, включая управление бизнес-процессами. Применение теории множеств позволяет не только формализовать данные и бизнес-процессы, но и выявить закономерности, что, в свою очередь, способствует более глубокому анализу и принятию обоснованных решений [4].

В соответствии с анализом внутренних локальных документов по обеспечению системы менеджмента качества учреждений высшего и среднего специального образования разработана корневая схема бизнес-процессов, раскрывающая деятельность по подготовке специалистов со средним специальным образованием [2, 3], которая представлена через три основных направления бизнес-процессов: управляющие – управляют функционированием образовательной системы учреждения образования; операционные (основные) – описывают образовательный процесс учреждения образования; поддерживающие – обслуживают основную деятельность учреждения образования. В статье рассматриваются операционные бизнес-процессы в виде последовательности с учетом приоритетности: планирование образовательного процесса, проектирование учебно-программной документации, подготовка специалистов на уровне среднего специального образования, воспитательная работа, прием в колледж, распределение выпускников.

Планирование образовательного процесса

Для описания модели планирования образовательного процесса с использованием логики «исключающее ИЛИ-НЕ» выделены следующие множества:

$$BPplan = \{A, B, C, D, E, F\}, \quad (1)$$

где A – учебная дисциплина; B – отделение колледжа; C – норма времени; D – объем учебных поручений; E, F – штатная численность и нагрузка преподавателей.

Исходя из (1), можно определить несколько логических связей:

- учебные дисциплины A должны быть распределены по отделениям B : $A \oplus B$, т. е. должна быть выбрана только одна дисциплина для одного отделения;
- нормы времени C должны быть согласованы с объемом учебных поручений D : $C \oplus D$, т. е. нормы времени должны соответствовать объему учебных поручений;
- штатная численность преподавателей E должна быть достаточной для обеспечения необходимой нагрузки преподавателей F : $E \oplus F$, т. е. должно быть достаточно преподавателей для выполнения нагрузки;
- если нет достаточного объема учебных поручений или норм времени, то нагрузка не может быть распределена: $(D \wedge C) \rightarrow F$.

Объединив все условия, можно записать формулу для модели планирования образовательного процесса следующим образом:

$$BPplan = ((A \oplus B) \wedge (C \oplus D) \wedge (E \oplus F)) \wedge ((D \wedge C) \rightarrow F). \quad (2)$$

Данная модель описывает основные взаимосвязи и условия для успешного планирования образовательного процесса в УССО.

Проектирование учебно-программной документации

Для формирования модели проектирования учебно-программной документации образовательного процесса с использованием логики «исключающее ИЛИ-НЕ» выделены следующие множества:

$$VPdocum = \{A, B, C, D, E\}, \quad (3)$$

где A, B, C – учебный план, учебная программа и учебный ресурс соответственно; D – шкала оценки студентов; E – стандарт образования.

Для эффективного управления учебно-программной документацией необходимо определить несколько логических связей:

- учебные планы A должны соответствовать стандартам образования E : $A \oplus E$;
- учебные программы B должны быть актуальны и содержать соответствующие учебные ресурсы C : $B \oplus C$;
- шкала оценки студентов D должна быть основана на учебных планах и программах: $D \oplus (A \wedge B)$;
- все элементы должны быть согласованы между собой для обеспечения качества образовательного процесса: $(A \wedge B) \vee C \vee D \vee E$;
- если хотя бы один элемент отсутствует или не соответствует требованиям, то процесс не будет эффективным: $((A \wedge B) \vee C \vee D \vee E) \rightarrow Q$, где Q – качество образовательного процесса.

Объединив все условия, можно записать формулу для модели проектирования учебно-программной документации

$$VPdocum = ((A \oplus E) \wedge (B \oplus C) \wedge (D \oplus (A \wedge B))) \wedge (((A \wedge B) \vee C \vee D \vee E) \wedge (A \vee B \vee C \vee D \vee E)). \quad (4)$$

Данная модель описывает основные взаимосвязи и условия для эффективного проектирования учебно-программной документации в образовательном процессе.

Подготовка специалистов на уровне среднего специального образования

Управление теоретическим обучением

Данный процесс особо важен, поэтому рассмотрен более детально. Для формирования модели управления теоретическим обучением в УССО с использованием логики «исключающее ИЛИ-НЕ» выделены следующие множества:

$$VPeduc = \{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, D_6\}, \quad (5)$$

где D_1 – подмножество «разработка документации», состоящее из:

$$D_1 = \{Gr, Sh, Ex, GEx\}; \quad (6)$$

Gr – график учебного процесса; Sh, Ex, GEx – расписание учебных занятий, экзаменационных сессий и работы государственной квалификационной комиссии соответственно; D_2 – подмножество «организация процесса обучения»:

$$D_2 = \{Rj, Ss, Sa\}; \quad (7)$$

Rj – запись в журнале учебных занятий; Ss – сводная ведомость успеваемости; Sa – ведомость учета учебных часов; D_3 – подмножество «промежуточная аттестация»:

$$D_3 = \{Rj, Eb, Ex\}; \quad (8)$$

Eb – запись в зачетной книжке; Ex – экзаменационная ведомость; D_4 – подмножество «распределение»:

$$D_4 = \{Oc, Ps, Cw\}; \quad (9)$$

Oc – протокол заседания комиссии по распределению; Ps – приказ о допуске к итоговой аттестации; Cw – свидетельство о направлении на работу; D_5 – подмножество «итоговая аттестация»:

$$D_5 = \{Ct, Oct, Dse, Erb\}; \quad (10)$$

Ct – протокол заседания государственной квалификационной комиссии; Oct – приказ об окончании обучения и отчисления из колледжа; Dse – документ государственного образца о среднем специальном образовании; Erb – запись в книге регистрации выдачи дипломов; D_6 – подмножество «анализ и формирование итоговых выводов и рекомендаций»:

$$D_6 = \{Ry, Re\}; \quad (11)$$

Ry – отчет по итогам учебного года; Re – рекомендация по улучшению управления учебным процессом.

Основные логические условия для управления процессом:

– необходимо, чтобы график учебного процесса, расписание занятий и экзаменов были согласованы между собой: $(Gr \oplus Sh) \wedge (Sh \oplus Ex) \wedge (Ex \oplus GEx)$;

– все записи и ведомости должны быть актуальны: $(Rj \oplus Ss) \wedge (Ss \oplus Sa)$;

– записи в журналах и зачетных книжках должны быть согласованы с экзаменационными ведомостями: $(Rj \oplus Eb) \wedge (Eb \oplus Ex)$;

– протоколы заседаний и приказы должны быть оформлены корректно: $(Oc \oplus Ps) \wedge (Ps \oplus Cw)$;

– все документы должны быть готовы к окончанию обучения: $(Ct \oplus Oct) \wedge (Oct \oplus Dse) \wedge (Dse \oplus Erb)$;

– отчет по итогам года должен сопровождаться рекомендациями: $Ry \oplus Re$.

Объединим все модели в одну

$$BPeduc = ((Gr \oplus Sh) \wedge (Sh \oplus Ex) \wedge (Ex \oplus GEx)) \wedge ((Rj \oplus Ss) \wedge (Ss \oplus Sa)) \wedge ((Rj \oplus Eb) \wedge (Eb \oplus Ex)) \wedge ((Oc \oplus Ps) \wedge (Ps \oplus Cw)) \wedge ((Ct \oplus Oct) \wedge (Oct \oplus Dse) \wedge (Dse \oplus Erb)) \wedge (Ry \oplus Re). \quad (12)$$

В целом данная модель описывает структуру управления теоретическим обучением в учреждении образования, где каждый этап требует наличия определенных документов с учетом взаимных исключений и условий. Каждый компонент системы должен соответствовать специфическим требованиям для обеспечения эффективного управления образовательным процессом.

Управление практическим обучением

Для описания модели управления практическим обучением в УССО с использованием логики «исключающее ИЛИ-НЕ» выделены следующие множества:

$$BPpract = \{D_1, M_1, D_2, A_1, C_2, D_3, D_4, D_5, D_6, D_7, D_8, P_5, D_9, R_3\}, \quad (13)$$

где M_1 – методические указания и рекомендации для практики; A_1 – утвержденный список баз практики; C_2 – договор с организацией; P_5 – протокол заседаний цикловой комиссии; R_3 – отчет о практическом обучении; D_1 – подмножество «разработка Положения о практике», состоящее из:

$$D_1 = \{P_1, P_2, P_3\}, \quad (14)$$

P_1, P_2 – Положение об организации практики и типовое Положение о практике; P_3 – учебная программа практики; D_2 – подмножество «подбор организаций – баз практики»:

$$D_2 = \{O_1, C_1\}; \quad (15)$$

O_1 – список организаций; C_1 – критерий выбора баз практики; D_3 – подмножество «распределение учащихся по базам практики»:

$$D_3 = \{S_1, P_4\}; \quad (16)$$

S_1 – распределение учащихся; P_4 – проект приказа о проведении практики; D_4 – подмножество «приказ об организации практики»:

$$D_4 = \{O_2, G_1\}; \quad (17)$$

O_2 – приказ директора колледжа; G_1 – график проведения практики; D_5 – подмножество «инструктажи и оформление направлений»:

$$D_5 = \{I_1, R_2\}; \quad (18)$$

I_1 – инструктаж по охране труда; R_2 – запись в журнале инструктажа; D_6 – подмножество «проведение практики»:

$$D_6 = \{J_1, J_2\}; \quad (19)$$

J_1 – журнал практики; J_2 – дневник и отчет практиканта; D_7 – подмножество «итоговая конференция»:

$$D_7 = \{C_3, G_2\}; \quad (20)$$

C_3 – итоговый отчет; G_2 – отметка в журнале практики; D_8 – подмножество «квалификационный экзамен»:

$$D_8 = \{Q_1, C_4\}; \quad (21)$$

Q_1 – квалификационный экзамен; C_4 – свидетельство установленного образца; D_9 – подмножество «оплата труда руководителей практики»:

$$D_9 = \{P_6, S_2\}; \quad (22)$$

P_6 – акт сдачи-приемки работ; S_2 – сведения для бухгалтерии.

Определим логические условия для каждого этапа, используя логику XOR и NOT:

- разработка положения основывается на типовом положении: $P_1 = P_2$;
- методические указания разрабатываются на основе положения: $M_1 = (P_1 \wedge D_1)$;
- список организаций формируется по критериям выбора: $O_1 = C_1$;
- договоры заключаются на основе утвержденных списков: $C_2 = A_1$;
- распределение учащихся основано на договорах: $S_1 = C_2$;
- приказ об организации практики издается на основе распределения: $O_2 = S_1$;
- инструктажи проводятся после издания приказа: $I_1 = O_2$;
- практика проводится после инструктажей: $J_1 = I_1$;
- итоговые отчеты представляются по завершении практики: $C_3 = J_1$;
- экзамен проводится при наличии квалификации: $Q_1 = J_1$;
- итоги подводятся на заседаниях цикловой комиссии: $P_5 = C_3$;
- оплата осуществляется на основе заключенных договоров: $P_6 = C_2$;
- отчет готовится на основании итогов работы: $R_3 = P_5$.

Объединим все модели в одну

$$\begin{aligned} BPpract = & (P_1 = P_2) \wedge (M_1 = (P_1 \wedge D_1)) \wedge (O_1 = C_1) \wedge \\ & \wedge ((A_1 = O_1) \wedge (C_2 = A_1) \wedge S_1 = C_2) \wedge (O_2 = S_1) \wedge (I_1 = O_2) \wedge \\ & \wedge (J_1 = I_1) \wedge (C_3 = J_1) \wedge (Q_1 = J_1) \wedge (P_5 = C_3) \wedge (P_6 = C_2) \wedge (R_3 = P_5). \end{aligned} \quad (23)$$

Данная модель позволяет систематизировать управление процессом практического обучения в УССО, обеспечивая согласованность всех этапов и документов с использованием логики «исключающее ИЛИ-НЕ» для управления взаимосвязями между компонентами системы.

Воспитательная работа

Для описания модели управления работой куратора с использованием логики «исключающее ИЛИ (XOR)» и «отрицание (NOT)» выделены следующие множества:

$$BPcurator = \{D_1, D_2, D_3, D_4\}, \quad (24)$$

где D_1 – подмножество «работа куратора»:

$$D_1 = \{Rk, Pk, Dk\}; \quad (25)$$

Rk – отчет о работе куратора; Pk – план работы куратора; Dk – документ по учету студентов; D_2 – подмножество «контроль успеваемости»:

$$D_2 = \{Rj, Ss, Sa\}; \quad (26)$$

Rj – запись в журнале учебных занятий; Ss – сводная ведомость успеваемости; Sa – ведомость учета учебных часов; D_3 – подмножество «работа с родителями»:

$$D_3 = \{Rm, Pm, Cm\}; \quad (27)$$

Rm – отчет о встрече с родителями; Pm, Cm – план встречи и документ о взаимодействии с родителями соответственно; D_4 – подмножество «анализ и рекомендации»:

$$D_4 = \{Ry, Re\}; \quad (28)$$

Ry – отчет по итогам работы куратора; Re – рекомендации по улучшению работы куратора.

Исходя из (24), можно определить несколько логических связей:

– работа куратора D_1 должна быть актуальна: $Rk \oplus Pk \oplus Dk$, т. е. должен быть представлен хотя бы один из этих документов;

– контроль успеваемости D_2 должен быть выполнен: $Rj \oplus Ss \oplus Sa$, т. е. должен быть представлен хотя бы один из этих документов;

– работа с родителями D_3 должна быть организована: $Rm \oplus Pm \oplus Cm$, т. е. должен быть представлен хотя бы один из этих документов;

– отчет и рекомендации D_4 должны быть подготовлены: $Ry \oplus Re$, т. е. должен быть представлен хотя бы один из этих документов;

– если нет достаточной документации по любому из направлений, то работа куратора не может быть признана эффективной: $((Rk \vee Pk \vee Dk) \wedge (Rj \vee Ss \vee Sa) \wedge (Rm \vee Pm \vee Cm) \wedge (Ry \vee Re)) \rightarrow E$.

Объединив все модели, можно записать формулу для модели управления работой куратора следующим образом:

$$\begin{aligned} BP_{curator} = & ((Rk \oplus Pk \oplus Dk) \wedge (Rj \oplus Ss \oplus Sa) \wedge (Rm \oplus Pm \oplus Cm) \wedge \\ & \wedge (Ry \oplus Re)) \wedge (((Rk \vee Pk \vee Dk) \wedge \\ & \wedge (Rj \vee Ss \vee Sa) \wedge (Rm \vee Pm \vee Cm) \wedge (Ry \vee Re)) \rightarrow E). \end{aligned} \quad (29)$$

Данная модель описывает основные взаимосвязи и условия для эффективного управления работой куратора в УССО.

Прием в колледж

Для формирования модели приема обучающихся в УССО с использованием логики «исключающее ИЛИ (XOR)» и «отрицание (NOT)» выделены следующие множества:

$$BPrecept = \{A, S, D, C, K, E, P\}, \quad (30)$$

где A, S, D, C – подмножества абитуриентов, поданных заявлений, предоставленных документов и успешно прошедших собеседование соответственно; K, E, P – подмножества утвержденных контрольных цифр приема, утвержденных составов предметных экзаменационных комиссий и принятых абитуриентов.

Для применения в (30) логики XOR-NOT были сформулированы следующие правила:

– абитуриент должен либо подать заявление и предоставить документы, либо не подать ни того, ни другого: $(S \wedge D) \oplus (\neg(S \wedge D))$;

– если абитуриент не прошел собеседование, он не может быть принят: $C \vee (\neg C)$;

– контрольные цифры и составы комиссий должны быть утверждены: $K \wedge E$.

Принятые абитуриенты формируются на основе всех вышеуказанных условий

$$P = A \cap (S \wedge D) \cap C \cap K \cap E. \quad (31)$$

Таким образом, модель приема обучающихся в УССО может быть представлена следующим образом:

- проверка условий для каждого абитуриента a_i :
- если не $s_i \wedge d_i$, то не принимаем;
- если не c_i , то не принимаем;
- если не $K \wedge E$, то процесс приема невозможен;
- формирование множества принятых абитуриентов: $P = C \wedge K \wedge E$.

Эта модель позволяет четко определить процесс приема обучающихся с учетом логики «исключающее ИЛИ-НЕ» и обеспечить прозрачность и справедливость в процессе отбора абитуриентов.

Распределение выпускников

Для создания модели распределения выпускников УССО с использованием логики «исключающее ИЛИ (XOR)» и «отрицание (NOT)» выделены следующие множества:

$$BPdistr = \{G, E, C, J, T, P\}, \quad (32)$$

где G, E, C – подмножества обучающихся (выпускников), комиссии по распределению молодых специалистов и графиков заседаний комиссии соответственно; J, T, P – подмножества протоколов результатов заседаний комиссии, ведомости распределения молодых специалистов и направлений на работу.

С использованием логики XOR-NOT сформулированы условия для определения распределенных выпускников следующим образом:

– выпускник может быть распределен только при выполнении одного из двух условий: $(c_i \wedge j_i) \oplus (c_i \wedge \bar{j}_i)$, т. е. либо заседание состоялось и протокол составлен, либо ни заседания, ни протокола не было;

– если протокол не был составлен, выпускник не может быть включен в ведомость распределения: $j_i = 0 \Rightarrow t_i = 0$;

– если выпускник включен в ведомость, он может получить направление на работу: $t_i = 1 \Rightarrow p_i = 1$.

Таким образом, модель распределения выпускников на основе вышеуказанных условий имеет вид

$$T = G: ((c_i \wedge j_i) \oplus (c_i \wedge \bar{j}_i)) \wedge (t_i = 1). \quad (33)$$

Эта модель позволяет четко определить процесс распределения выпускников с учетом логики «исключающее ИЛИ-НЕ», обеспечивая прозрачность при трудоустройстве и дальнейшем образовании.

Заключение

Представлены разработанные на основе теории множеств математические модели операционных бизнес-процессов учреждения среднего специального образования, которые обладают такими новшествами, как:

– четкость и структурированность: данная форма представления бизнес-процессов позволяет определить их компоненты и взаимосвязи (например, множество A может представлять входные данные, B – действия, а C – выходные результаты), что дает возможность лучше оценить каждую часть процесса для принятия эффективных решений;

– идентификация узких мест: можно легко выявить узкие места и проблемные области (например, если множество B слишком велико и включает излишние действия, то процесс можно оптимизировать через сокращение или автоматизацию этих действий);

– моделирование и симуляция: множества позволяют моделировать разные сценарии (например, изменение входных данных во множестве A влияет на результаты множества C), что способствует поиску наиболее эффективных моделей работы;

– интеграция и взаимодействие: структурированные бизнес-процессы в виде множеств позволяют учреждениям образования и другим организациям и структурам интегрировать свои процессы и обмениваться данными более эффективно, ускоряя взаимодействие между различными системами;

– упрощение коммуникации: визуализация бизнес-процессов в виде множеств помогает улучшить коммуникацию внутри учреждения. Все участники могут четко понимать, какой элемент отвечает за какую функцию, что упрощает принятие решений в случае необходимости их обсуждения и внесения изменений.

Список литературы

1. Бущик, Е. А. Элементы концептуального подхода к цифровой трансформации образования / Е. А. Бущик, Н. И. Листопад, Т. А. Парафиянович // Информационные радиосистемы и радиотехнологии 2022: матер. Науч.-техн. конф., г. Минск, 29–30 нояб. 2022 г. Минск: Белор. гос. ун-т информ. и радиоэлек., 2022. С. 255–258.
2. Listopad, N. Model of Interoperability of Information Systems of Information and Communication Environment of Secondary Special Education Institution / N. Listopad, L. Bushchik // Collection of Scientific Papers: Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS). Minsk: Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023. Iss. 7. P. 279–284.
3. Листопад, Н. И. Модель управления учебным процессом в учреждениях среднего специального образования / Н. И. Листопад, Е. А. Бущик // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 2. С. 52–59. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-52-59>.
4. Атапин, В. Г. Специальные главы математики: множества, графы, комбинаторика / В. Г. Атапин. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. технич. ун-та, 2016.

Поступила 15.01.2025

Принята в печать 03.03.2025

Доступна на сайте 10.04.2025

References

1. Bushchik E. A., Listopad N. I., Parafyanovich T. A. (2022) Elements of a Conceptual Approach to the Digital Transformation of Education. *Information Radio Systems and Radio Technologies 2022, Proceedings of the Scientific and Technical Conference, Minsk, Nov. 29–30*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 255–258 (in Russian).
2. Listopad N., Bushchik L. (2023) Model of Interoperability of Information Systems of Information and Communication Environment of Secondary Special Education Institution. *Collection of Scientific Papers: Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS)*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 7, 279–284.
3. Listopad N. I., Bushchik E. A. (2023) Model of Educational Process Management in Institutions of Secondary Special Education. *Digital Transformation*. 29 (2), 52–59. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-52-59> (in Russian).
4. Atapin V. G. (2016) *Special Chapters of Mathematics: Sets, Graphs, Combinatorics*. Novosibirsk, Novosibirsk State Technical University Publish. House (in Russian).

Received: 15 January 2025

Accepted: 3 March 2025

Available on the website: 10 April 2025

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

Сведения об авторах

Листопад Н. И., д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных радиотехнологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Бущик Е. А., асп. каф. информационных радиотехнологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Information about the authors

Listopad N. I., Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Information Radiotechnologies Department, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Bushchik E. A., Postgraduate at the Information Radiotechnologies Department, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-23-04
E-mail: listopad@bsuir.by
Листопад Николай Измаилович

Address for correspondence

220103, Republic of Belarus,
Minsk, Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-23-04
E-mail: listopad@bsuir.by
Listopad Nikolai Izmailovich

