

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Том 32, № 3, 2026

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 и другие

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЕ

Батура М. П., Марахина И. В., Пархименко В. А. Специфика оценки эффективности маркетинга в социальных сетях в IT-секторе	5
Медведевских Д. С., Головенчик Г. Г. Цифровые транснациональные компании и их оценка.....	14
Авдейчик О. В. Интеллектуальный компонент инновационного функционирования экономики устойчивого социально-экономического развития.....	22
Григорьева Я. И. Основные аспекты процесса цифровой трансформации в банковской системе Республики Беларусь: криптобанки, искусственный интеллект, цифровой белорусский рубль	32
Ren X. Machine Learning-Based Prediction of Students' Academic Performance in Higher Education (Жэнь С. Прогнозирование академической успеваемости студентов в высшем образовании на основе методов машинного обучения).....	43

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Борисевич А. В., Борисевич С. А., Лукашевич М. М. Стратегия цифровой трансформации организации на основе процессного подхода и технологий искусственного интеллекта.....	52
Тихонов М. Р. Анализ цифровой трансформации процессов управления качеством	62

Главный редактор Вадим Анатольевич Богуш
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 А. Л. Потеев

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

Журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертаций по следующим научным направлениям:
технические (информатика, вычислительная техника и управление) и экономические науки

Подписано в печать 21.09.2026. Формат бумаги 60×84½. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 8,6. Уч.-изд. л. 7,0. Тираж 55 экз. Заказ 195.

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, 2026

DIGITAL TRANSFORMATION

V. 32, No 3, 2026

The scientific journal is being published since 1995

Founder

Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”

The Journal is included in databases:

DOAJ, Google Scholar, Mendeley, Open Alex, RISC and other

CONTENTS

ECONOMIC SCIENCES, EDUCATION

Batura M., Marakhina I., Parkhimenko U. Specifics of Evaluating Social Media Marketing Effectiveness in the IT Sector.....	5
Medvedevskikh D., Goloventchik G. Digital Multinational Companies and Their Valuation	14
Avdeychik O. The Intellectual Component of the Innovative Functioning of an Economy of Sustainable Socio-Economic Development.....	22
Grigoreva Y. Main Aspects of the Digital Transformation Process in the Banking System of the Republic of Belarus: Crypto-Banks, Artificial Intelligence, and the Digital Belarusian Ruble	32
Ren X. Machine Learning-Based Prediction of Students’ Academic Performance in Higher Education	43

TECHNICAL SCIENCES

Borisevich A., Borisevich S., Lukashevich M. Digital Transformation Strategy for an Organization Based on a Process-Oriented Approach and Artificial Intelligence Technologies.....	52
Tikhonov M. Analysis of Digital Transformation of Quality Management Processes.....	62

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. Golentkov, 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 A. Patseyeu

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

The journal is included in the List of Scientific Publications of the Republic of Belarus
for the publication of dissertation research results in the following scientific fields:
technical sciences (informatics, computer engineering, and control) and economic sciences

Signed for printing 21.09.2026. Format 60×84 1/8. Office paper. Printed on a risograph. Type face Times.
Ed.-pr. 1. 8,6. Ed.-ed. 1. 7,0. Edition 55 copies. Order 195.

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

© Educational Establishment “Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics”,
original layout, design, 2026



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-5-13>

УДК 339.138:004.738.5

СПЕЦИФИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРКЕТИНГА В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ В ИТ-СЕКТОРЕ

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

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

Аннотация. Обоснована необходимость дифференцированного подхода к оценке эффективности маркетинга в социальных сетях для компаний ИТ-сектора. Актуальность исследования обусловлена отсутствием методик, учитывающих особенности этого сектора, что приводит к применению некорректных метрик и принятию неэффективных управленческих решений. В статье выделены и систематизированы семь ключевых отраслевых факторов, определяющих специфику оценки эффективности маркетинга в социальных сетях. Разработана таблица применения юнит-метрик для различных типов ИТ-компаний. Сформулированы требования к оценке эффективности маркетинга в социальных сетях для ИТ-компаний, учитывающие в том числе тип бизнес-модели, этап воронки продаж, платформенную специфику и необходимость интеграции юнит-экономики.

Ключевые слова: социальные сети, оценка эффективности, ИТ-сектор, B2B-маркетинг, B2C-маркетинг, бизнес-модель, юнит-экономика, CAC, LTV, сквозная аналитика, атрибуция.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Батура, М. П. Специфика оценки эффективности маркетинга в социальных сетях в ИТ-секторе / М. П. Батура, И. В. Марахина, В. А. Пархименко // Цифровая трансформация. 2026. Т. 32, № 3. С. 5–13. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-5-13>.

SPECIFICS OF EVALUATING SOCIAL MEDIA MARKETING EFFECTIVENESS IN THE IT SECTOR

MIHAIL BATURA, INA MARAKHINA, ULADZIMIR PARKHIMENKO

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

Abstract. The study substantiates the need for a differentiated approach to evaluating social media marketing effectiveness for IT companies. The research is driven by the lack of methodologies that account for the specific characteristics of this sector, a gap that leads to the use of inappropriate metrics and ineffective management decisions. The article identifies and systematizes seven key industry factors that shape the specifics of evaluating social media marketing performance. A table outlining the application of unit metrics for various types of IT companies has been developed. Requirements for evaluating social media marketing effectiveness in the IT sector are formulated, taking into account factors such as the business model, the sales funnel stage, platform-specific nuances, and the necessity of integrating unit economics.

Keywords: social media, performance evaluation, IT sector, B2B marketing, B2C marketing, business model, unit economics, CAC, LTV, end-to-end analytics, attribution.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interests.

For citation. Batura M., Marakhina I., Parkhimenko U. (2026) Specifics of Evaluating Social Media Marketing Effectiveness in the IT Sector. *Digital Transformation*. 32 (3), 5–13. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-5-13> (in Russian).

Введение

Социальные сети в настоящее время являются одним из самых быстро развивающихся каналов маркетинговых коммуникаций для компаний из различных отраслей и зачастую требуют больших ресурсных вложений. Подходы к оценке эффективности работы в них имеют ряд недостатков. Например, игнорируются отраслевые нюансы, что ведет к ошибочным управленческим решениям. Это особенно остро проявляется в сегментах с длительным циклом сделки, где влияние социальных сетей на конечный результат без специальных инструментов оценки просто «размывается» между множеством касаний.

В статье систематизированы основные отраслевые факторы, определяющие специфику оценки маркетинга в социальных сетях (SMM) в IT-секторе. В процессе анализа IT-сектора выделены требования к системе оценки работы в соцсетях, которые должны учитываться при разработке методологии оценки эффективности SMM для IT-сферы. Это позволит адаптировать существующие подходы под разные типы бизнес-моделей.

Методика проведения исследования

Результаты исследований получены путем анализа и обобщения научных публикаций, отчетов и практики работы в сферах цифрового маркетинга, B2B-коммуникаций, атрибуции и юнит-экономики. Для выделения ключевых особенностей применялся контент-анализ научных источников, систематизировались факторы, значимые для выбора метрик. Проведен сравнительный анализ трех бизнес-моделей (продуктовой, сервисной, гибридной) и двух типов клиентов (B2B, B2C), что позволило обосновать, как именно эти различия влияют на требования к системе оценки работы в социальных сетях.

В процессе исследований выделены семь ключевых отраслевых факторов, которые необходимо учитывать при формировании системы оценки эффективности SMM в IT-секторе:

- 1) неоднородность бизнес-моделей и типов клиентов;
- 2) длительный цикл сделки и сложность продукта;
- 3) важность контента, демонстрирующего экспертизу;
- 4) проблемы атрибуции и необходимость сквозной аналитики;
- 5) применение юнит-экономики как инструмента оценки;
- 6) алгоритмическая обусловленность видимости контента;
- 7) приоритет качественных характеристик аудитории.

Неоднородность бизнес-моделей и типов клиентов. В IT-секторе можно выделить как минимум три принципиально разные бизнес-модели, каждая из которых задает особые цели присутствия в социальных сетях и, соответственно, требует различных подходов к оценке [1]:

– **продуктовая модель:** компания разрабатывает собственный программный продукт и продает его множеству клиентов (B2C, B2B, B2G). Маркетинг здесь направлен на формирование спроса, демонстрацию функциональности, построение сообщества пользователей. Ключевые метрики: охваты, вовлеченность, лиды, конверсии в триалы/покупки, NPS, отзывы;

– **сервисная модель (включая аутсорсинг):** компания предоставляет услуги по разработке под заказ, интеграции, консалтингу. Клиенты – другие бизнесы (B2B, иногда B2G). Здесь социальные сети играют роль средства демонстрации экспертизы, инструмента построения доверия и генерации лидов. Метрики смещаются в сторону демонстрации кейсов, экспертных публикаций, узнаваемости среди лиц, принимающих решения, и, в конечном счете, количества и качества входящих запросов (лидов);

– **гибридная модель:** многие компании сочетают продуктивное и сервисное направления, соответственно набор метрик в них формируется как комбинация показателей продуктовой и сервисной моделей с приоритизацией в зависимости от структуры выручки.

Клиенты IT-компаний могут относиться к секторам B2C, B2B и B2G, каждый из которых предъявляет особые требования к коммуникации, что напрямую влияет на выбор показателей эффективности. Для B2B и B2G (из-за ограничения объема исследования сектор B2G не рассмотрен в статье. Тем не менее к нему применимы подходы, используемые для B2B) характерны длительные циклы принятия решений, участие нескольких лиц, влияющих на выбор, а также высокая значимость репутации и экспертного статуса поставщика. Для B2C характерны более короткие

циклы принятия решений, высокая роль эмоционального вовлечения и визуального контента, а также ориентация на массовую аудиторию.

Таким образом, необходимо разделять подходы к оценке SMM в зависимости от бизнес-модели и типа клиента. Оценка также должна строиться вокруг ключевых бизнес-целей компании: формирование спроса, генерация лидов, укрепление репутации и т. д.

Длительный цикл сделки и сложность продукта. Продукты и услуги IT-компаний B2B-сегмента и компаний, продающих кастомизированные решения, услуги аутсорсинга или сложное корпоративное программное обеспечение (ПО), часто сложные, с большой долей интеллектуального капитала и требуют значительных усилий по объяснению ценности для клиента. Процесс принятия решения о покупке может растягиваться на месяцы, часто принимается несколькими лицами с разными ролями, представителями различных функциональных областей и уровней¹ [2]. Это означает, что классическая модель «клик–покупка» здесь не работает, воронка продаж становится длиннее и сложнее.

В данном случае при оценке эффективности учитываются не прямые конверсии, а маркетингово-квалифицированные лиды (MQL) – потенциальные клиенты, которые соответствуют целевому профилю, проявили интерес (например, скачали экспертный материал, зарегистрировались на вебинар или оставили заявку на демо), но еще не приняты отделом продаж в качестве готовых к прямой продаже. Для компаний с длинным циклом сделки также критична конверсия MQL в SQL (Sales Qualified Lead) – лид, принятый отделом продаж как готовый к активной работе и коммерческому предложению. Следовательно, для сложных B2B-решений оценка SMM не может ограничиваться подсчетом MQL. Анализ целесообразно дополнить долей переходов от MQL к квалифицированному лиду SQL, а также стоимостью квалифицированного лида (Cost Per Qualified Lead, CPQL), что характеризует эффективность SMM на верхних этапах воронки. При этом важно отслеживать потенциального покупателя на всей длине воронки, используя методы мультиканальной атрибуции.

У массовых B2C-продуктов воронка часто сжата до нескольких шагов, конверсия происходит быстро, что позволяет использовать классические конверсионные модели. Эффективность SMM можно оценивать через стандартные показатели окупаемости маркетинговых вложений. Таким образом, чем сложнее и дороже продукт, тем сильнее фокус смещается с продаж на накопление узнаваемости и генерацию MQL.

Важность контента, демонстрирующего экспертизу. Для сложных B2B-продуктов, кастомизированных решений и услуг, где стоимость высока, а аудитория обладает глубокой технической экспертизой, контент (статьи, кейсы, вебинары, демо) – главный способ показать свою компетентность. Так, исследование, проведенное для IT-компаний, занимающихся корпоративным программным обеспечением [3], показало, что информативность и персонализация в социальных сетях оказывают значительное влияние на воспринимаемое лидерство компаний-разработчиков корпоративного ПО на рынке. Кроме того, это также влияет на готовность клиентов распространять в социальных сетях контент, подчеркивающий положительные качества бренда. С другой стороны, развлекательная и интерактивная деятельность в сфере SMM не оказывает существенного влияния на воспринимаемое лидерство на рынке и вовлеченность клиентов. В таких условиях количественные показатели просмотров и лайков должны быть дополнены качественными метриками глубины вовлечения и метриками когнитивного вовлечения [4, 5], например уровнем дочитывания, скачивания, числом вопросов в комментариях, переходов к дополнительным материалам, регистраций на вебинары, показателями цитирования и числом репостов от инфлюенсеров в отрасли.

При работе с массовыми B2C-продуктами – мобильными приложениями, игровыми сервисами, простыми подписными SaaS-решениями с коротким циклом принятия решения – на первый план выходит не столько доказательство технической компетентности, сколько скорость донесения ценности, визуальная демонстрация пользовательского опыта и стимулирование быстрой конверсии. Соответственно и ключевые метрики смещаются к более простым и измеримым: просмотры, вовлеченность в формате реакций, прямые переходы на покупку или регистрацию. В этом случае отказ от глубинного анализа дискуссии может быть экономически оправдан. Важ-

¹ Turner, A. J. The 9+ Month Reality of Enterprise Sales / A. J. Turner // The G&T Sessions [Substack]. 2025. Mode of access: <https://andrewjturner.substack.com/p/the-9-month-reality-of-enterprise>. Date of access: 09.08.2026.

ность анализа тональности упоминаний, скорости распространения негатива и соответствия контента заявленной экспертной позиции компании определяются ролью социальных сетей для IT-компаний [6] и важностью управления в них репутацией таких компаний.

Проблемы атрибуции и необходимость сквозной аналитики. Для B2B-компаний, торгующих дорогими решениями с длительным циклом сделки, высокая стоимость касания делает необходимой глубокую интеграцию данных и применение сложных моделей атрибуции [7]. Социальные сети зачастую играют роль одного или нескольких из касаний, и их вклад в итоговую сделку необходимо оценивать с помощью моделей атрибуции. Это требует интеграции данных из CRM, систем веб-аналитики и соцсетей. Необходимо настроить сквозную аналитику, чтобы видеть, как взаимодействие в соцсети через несколько месяцев привело к заказу [8].

Применение юнит-экономики как инструмента оценки. Данный подход, получивший широкое распространение в сфере технологического предпринимательства и венчурного инвестирования, предлагает оценивать бизнес «на уровне одной единицы» – одного клиента, одного заказа, одной подписки или одного продукта. В отличие от традиционных финансовых метрик (общая выручка, совокупная прибыль), юнит-экономика позволяет ответить на ключевой вопрос: является ли бизнес прибыльным на уровне отдельной транзакции или клиента? Для IT-компаний, работающих по модели SaaS или развивающих собственные цифровые продукты, этот подход приобретает особое значение^{2,3} [9].

Для количественной оценки эффективности SMM в IT-компаниях выделим перечень метрик, применяемых в маркетинговой аналитике:

- CAC (Customer Acquisition Cost) – стоимость привлечения клиента (который платит). Показывает, во сколько компании обходится привлечение одного нового клиента или пользователя. Для SMM общие затраты на маркетинг и продажи включают не только прямые затраты на рекламу (таргетинг, продвижение постов), но и трудозатраты SMM-команды, стоимость инструментов аналитики, а также долю затрат на создание контента, приходящуюся на привлечение новых клиентов;

- CPI (Cost Per Install) – это стоимость одной установки приложения;

- CPQL – стоимость квалифицированного лида, переданного в отдел продаж и готового к работе;

- CPL (Cost Per Lead) – стоимость одного необработанного лида (контактные данные, заявка без проверки на соответствие профилю и интересу);

- LTV или CLTV (Customer Lifetime Value) – пожизненная ценность клиента. Отражает общий доход, который компания получает от одного клиента за все время его взаимодействия с бизнесом;

- LTV/CAC – отношение ценности клиента к затратам на его привлечение. Показателем эффективной работы является соотношение $LTV > 3CAC$ ²;

- Payback Period – срок окупаемости затрат на привлечение. Оптимальным считается срок окупаемости менее 12 мес²;

- Gross Margin (Cost of Goods Sold, COGS) – валовая маржинальность. Определяет долю выручки, остающуюся после вычета переменных затрат;

- Churn Rate – уровень оттока клиентов. Определяется, как процент клиентов, который прекратил взаимодействие с компанией за период (обычно месяц или год);

- ARPU (Average Revenue Per User) – средний доход на пользователя. При этом учитываются все пользователи (в том числе использующие бесплатные версии) за определенный период;

- Retention Rate – коэффициент удержания, т. е. доля клиентов, которые остались с компанией и продолжают пользоваться продуктом или услугой за определенный период. Низкое удержание сигнализирует о проблемах с качеством, ценностью или клиентским опытом;

- доля кошелька (Share of Wallet, SOW) – доля расходов клиента на продукт/услугу компании в общих расходах этого клиента в данной товарной категории за определенный период.

² Skok, D. SaaS Metrics 2.0 – A Guide to Measuring and Improving What Matters [Electronic resource] / D. Skok. Mode of access: <https://www.forentrepreneurs.com/saas-metrics-2/>. Date of access: 03.08.2026.

³ 2025 Benchmarking Private SaaS Company Growth Rates [Electronic resource] // SaaS Capital. Mode of access: <https://www.saas-capital.com/wp-content/uploads/2025/06/RB33WS5-2025-B2B-Benchmarking-Private-SaaS-Company-Growth-Rates.pdf>. Date of access: 09.08.2026.

Следует отметить, что в зависимости от типа бизнес-модели IT-компаний рекомендуется использовать различные показатели юнит-экономики, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Применение юнит-экономики для различных бизнес-моделей IT-компаний
Table 1. Application of unit economics to various IT company business models

Тип IT-компаний	Единица анализа	Ключевые юнит-метрики для SMM	Особенности юнит-экономики
Продуктовые IT (B2C, короткий цикл) – мобильные приложения, массовые онлайн-сервисы, B2C-SaaS с быстрой покупкой ⁴	Активный пользователь (DAU/MAU)*	CPI, CAC, ARPU, LTV, Retention Rate как ключевые показатели монетизации через SMM-каналы	SMM-кампании напрямую влияют на юнит-экономику через стоимость привлечения и удержание. Важный критерий: LTV (рассчитывается с использованием ARPU и Retention Rate) должен устойчиво превышать CPI. Важны ключевые метрики активации – ранние поведенческие действия, предсказывающие конверсию. Цикл короткий, возможна атрибуция по последнему клику
Продуктовые IT (B2B, длинный цикл) – SaaS, корпоративное ПО, платформы	Клиент/подписка	CPQL, LTV/CAC; CAC по SMM-каналам, LTV, Churn Rate	Для SaaS-моделей и в целом для длинного цикла принятия решений в продуктовых компаниях ключевым является соотношение LTV и CAC, при котором SMM должно обеспечить устойчивое снижение CAC при сохранении высокого LTV и низкого Churn Rate; в данном случае SMM-стратегия направлена не только на привлечение, но и на удержание и расширение продуктовой линейки. Из-за длинного цикла обязательны многоканальная атрибуция и учет касаний в верхней части воронки
Сервисные IT (аутсорсинг, консалтинг) – B2B, проекты и долгосрочные контракты	Проект/долгосрочный контракт	CAC по SMM-каналам, LTV как средний чек, умноженный на частоту повторных заказов по лидам из SMM, знание бренда как показатель репутационного капитала, Payback Period	В сервисных IT-компаниях SMM выступает в роли генератора доверительных лидов и репутации, поэтому юнит-экономика строится вокруг стоимости привлеченного клиента; при относительно низкой маржинальности особое значение имеют сроки окупаемости и частота повторных взаимодействий. Так как воронка длинная, решение принимается коллегиально, требуются качественные метрики вовлечения

⁴ Как оценить эффективность мобильного приложения [Электронный ресурс] // AppFox. Режим доступа: <https://appfox.ru/blog/kak-otsenit-effektivnost-mobilnogo-prilozheniya/>. Дата доступа: 09.08.2026.

Окончание табл. 1
Ending of Tab. 1

Тип IT-компании	Единица анализа	Ключевые юнит-метрики для SMM	Особенности юнит-экономики
Гибридная (продукт + услуги)	Клиент с учетом кросс-продаж	CAC по направлениям (продукты и услуги), LTV с учетом кросс-продаж и дополнительных продаж, SOW	В гибридных моделях SMM-направление должно одновременно снижать CAC и повышать LTV за счет кросс-продаж и расширения продуктовой линейки у одного клиента; для этого необходимы отдельный учет потоков и синергия качества между продуктом и услугами на уровне юнит-экономики. Длинный цикл сделки требует сквозной аналитики и сложных моделей атрибуции
*DAU – количество уникальных пользователей, совершивших целевое действие (запуск приложения, вход в сервис) в течение суток; MAU – количество уникальных пользователей, совершивших целевое действие за календарный месяц.			

Следует отметить, что интеграция юнит-экономики в систему оценки SMM позволяет IT-компаниям перейти к финансово обоснованным показателям, подтверждающим вклад социальных сетей в долгосрочную устойчивость и масштабируемость бизнеса.

Алгоритмическая обусловленность видимости контента. Охват и вовлеченность в соцсетях зависят от алгоритмов ранжирования. Как отмечается в [10], «платформы создают условия видимости. Бизнес-субъекты разрабатывают образы и сообщения, соответствующие этим условиям». Платформы не раскрывают их логику и постоянно вносят изменения. Алгоритмы устроены как системы взвешенных факторов: они отдают предпочтение контенту, который удерживает пользователя на платформе и провоцирует реакции, комментарии, репосты [11].

Для IT-компаний это принципиально, так как их аудитория часто профессиональная. Если публикация не соответствует алгоритмическим приоритетам, она может не получить охвата, даже будучи очень релевантной. Значит, недостаточно просто выпускать хороший экспертный контент – его нужно подстраивать под «правила» каждой площадки. Так, техническая статья или разбор архитектуры скорее наберут просмотры в LinkedIn, потому что алгоритмы этой сети поощряют профессиональные обсуждения⁵. А в Instagram или Facebook приоритет отдается визуалу и эмоциям. Это определяет необходимость оценки SMM в разрезе социальных сетей.

Приоритет качественных характеристик аудитории. В IT-сегменте, особенно в B2B, ценность аудитории определяется не ее размером, а уровнем влияния на принятие решений [12, 13]. Даже несколько подписчиков – технических директоров и руководителей направлений из целевых компаний – способны привести к многомиллионным контрактам. Поэтому при оценке эффективности SMM ключевыми становятся не валовые показатели, предоставляемые системами социальных сетей (общее число подписчиков, просмотров или лайков), а качественные метрики: доля целевой аудитории в сообществе, количество подписчиков с определенными должностями и из целевых компаний, конверсия в MQL именно из целевого сегмента (технических директоров и руководителей направлений), глубина вовлечения профильных специалистов. Такой подход требует регулярного аудита аудитории и сдвига фокуса с «ценности за подписчика» на «ценность релевантного контакта», который может стать точкой входа в длинный цикл сделки.

Для массовых B2C-продуктов (мобильные приложения, подписные сервисы с короткой конверсией) важность качества и количества приблизительно равна: здесь по-прежнему важна релевантность аудитории, но критичным становится и масштаб охвата, поскольку монетизация строится на объеме активной базы. В таких случаях метрики качества аудитории чаще определяются не должностями, а долей платящих пользователей, коэффициентов удержания и соответствием портрету целевого клиента.

⁵ Ciocianu, M. The LinkedIn Algorithm Explained (2026 guide) [Electronic resource] / M. Ciocianu. Mode of access: https://socialbee.com/blog/linkedin-algorithm/?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block. Date of access: 09.08.2026.

Результаты исследований и их обсуждение

Проведенный анализ специфики IT-сектора позволил выделить ряд требований, которые должны приниматься во внимание при разработке методологии оценки эффективности SMM для IT-сферы:

- учитывать, что бизнес-модели IT-компаний разные: продуктовые (B2C и B2B), сервисные, гибридные. Для каждой необходим свой набор метрик, который позволяет четко различать B2B с длинным циклом сделки (решение принимают несколько человек) и B2C с быстрой конверсией и массовым привлечением пользователей;

- отслеживать движение клиента по воронке. Для сложных B2B-продуктов необходимо делать упор на ранние и средние этапы: осведомленность, интерес, готовность к обсуждению. Для массовых B2C – на прямые конверсионные действия;

- использовать метрики юнит-экономики, но подбирать их под конкретную единицу анализа: активный пользователь, клиент/подписка, проект/контракт, клиент с кросс-продажами;

- сочетать анализ количественных показателей с качественными. В B2B на первое место выходят глубина обсуждений, цитируемость у лидеров мнений, реальные подтверждения технической экспертизы. В B2C можно обойтись более простыми метриками вовлечения: просмотры, реакции, переходы;

- настраивать сквозную аналитику и атрибуцию, при этом сложность этих моделей должна соответствовать длине воронки. Для B2B с длинным циклом нужна многоканальная атрибуция, интеграция с CRM, учет временного спада. Для B2C с короткой конверсией может быть достаточно моделей по последнему или первому касанию;

- учитывать, что видимость контента зависит от алгоритмов, а платформы работают по-разному. Оценивать эффективность целесообразно отдельно: в LinkedIn – по генерации лидов и вовлеченности профильных специалистов; в профессиональных сообществах и YouTube – по накоплению экспертного капитала; в Instagram и Facebook – по узнаваемости бренда и привлечению кадров и т. д.;

- в B2B оценивать в первую очередь качество аудитории, а не ее размер. Ключевые показатели, которые нужно отслеживать, – это доля целевых контактов (технических директоров, руководителей из нужных компаний) и их конверсия в MQL. Для массовых B2C-продуктов важен масштаб с учетом качества аудитории.

Перечисленные требования обуславливают пересмотр общих подходов к оценке эффективности SMM и их целенаправленную адаптацию к специфике IT-сектора.

Заключение

1. На основе анализа и систематизации академических источников, отраслевых отчетов и практических кейсов выделены семь ключевых отраслевых факторов, определяющих специфику оценки эффективности маркетинга в социальных сетях в IT-секторе, включающие:

- 1) неоднородность бизнес-моделей и типов клиентов;
- 2) длительный цикл сделки и сложность продукта;
- 3) важность контента, демонстрирующего экспертизу;
- 4) проблемы атрибуции и необходимость сквозной аналитики;
- 5) применение юнит-экономики как инструмента оценки;
- 6) алгоритмическую обусловленность видимости контента;
- 7) приоритет качественных характеристик аудитории.

2. Составлена таблица применения юнит-метрик для четырех типов IT-компаний (продуктовые B2C с коротким циклом, продуктовые B2B с длинным циклом, сервисные, гибридные). В отличие от универсальных подходов, предлагаемая таблица увязывает конкретные показатели с единицей анализа (активный пользователь, клиент/подписка, проект/контракт, клиент с кросс-продажами) и длиной цикла принятия решений. Это позволяет компаниям обоснованно выбирать метрики для каждого канала социальных сетей, оценивать не только операционную эффективность (стоимость привлечения и конверсию), но и долгосрочную эффективность маркетинговых инвестиций.

3. Перспективы дальнейших исследований включают разработку методики оценки коммуникационной и коммерческой эффективности маркетинга в социальных сетях для каждой из выделенных бизнес-моделей.

Список литературы

1. Батура, М. П. Организационный механизм системного привлечения новых клиентов в IT-компаниях через социальные сети / М. П. Батура, И. В. Марахина, В. А. Пархименко // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 1. С. 22–30. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-22-30>.
2. Shainesh, G. Understanding Buyer Behaviour in Software Services Strategies for Indian Firms / G. Shainesh // International Journal of Technology Management. 2004. Vol. 28, No 1. P. 118–127. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2004.005056>.
3. Kethuda, O. Perceived Market Leadership and Customer Engagement for IT Companies in the Enterprise Software Market: Evaluating the Role of Social Media Marketing / O. Kethuda, R. Ayoubi // Journal of Business-to-Business Marketing. 2026. Vol. 33, No 1. P. 147–166. <https://doi.org/10.1080/1051712X.2024.2446812>.
4. Ma, L. Investigating Consumers' Cognitive, Emotional, and Behavioral Engagement in Social Media Brand Pages: A Natural Language Processing Approach / L. Ma, W. Ou, C. S. Lee // Electronic Commerce Research and Applications. 2022. Vol. 54. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2022.101179>.
5. Trunfio, M. Conceptualising and Measuring Social Media Engagement: A Systematic Literature Review / M. Trunfio, S. Rossi // Italian Journal of Marketing. 2021. Vol. 2021, No 3. P. 267–292. <https://doi.org/10.1007/s43039-021-00035-8>.
6. Батура, М. П. Методические основы качественного и количественного анализа работы IT-компаний в социальных сетях / М. П. Батура, И. В. Марахина, В. А. Пархименко // Цифровая трансформация. 2025. Т. 31, № 2. С. 5–12. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-5-12>.
7. Multi-Touch Attribution for Complex B2B Customer Journeys using Temporal Convolutional Networks / A. Agrawal [et al.] // Companion Proceedings of the Web Conference 2022 (WWW '22 Companion). Virtual Event / Lyon, France, April 25–29, 2022. P. 910–917. <https://doi.org/10.1145/3487553.3524670>.
8. Белозров, Д. А. Разработка сквозной маркетинговой аналитики для SaaS-решений в сегменте делового рынка (B2B) / Д. А. Белозров, Н. А. Беляев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. 2018. Т. 12, № 3. С. 131–139. <https://doi.org/10.14529/em180315>.
9. Ghosh, S. Startup Finance 2.0: Value Creation, Tokenization, and the Next Era of Startup Funding / S. Ghosh. New York: Productivity Press, 2025. <https://doi.org/10.4324/9781003614067>.
10. Madsen, D. O. Parasocial Business: Platformed Authority and Organizational Influence in the Visibility Economy / D. O. Madsen // Administrative Sciences. 2026. Vol. 16, No 7. P. 1–22. <https://doi.org/10.3390/admsci16070309>.
11. Батура, М. П. Принципы функционирования алгоритмических систем социальных сетей / М. П. Батура, И. В. Марахина, В. А. Пархименко // Наука и инновации. 2025. № 12. С. 60–64. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-12-60-64>.
12. Diorio, S. The four Cs of B2B Targeting: Using Company, Customer, Channel and Contextual Data to Shrink the Audience Bullseye / S. Diorio, R. Howarth // Applied Marketing Analytics: The Peer-Reviewed Journal. 2024. Vol. 10, No 3. P. 227–244.
13. Is First- Or Third-Party Audience Data More Effective for Reaching The 'Right' Customers? The Case of IT Decision-Makers / N. Neumann [et al.] // Quantitative Marketing and Economics. 2023. Vol. 21. P. 519–571. <https://doi.org/10.1007/s11129-023-09268-7>.

Поступила 20.08.2026

Принята в печать 10.09.2026

Доступна на сайте 12.10.2026

References

1. Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko V. A. (2025) Organizational Mechanism for Systematically Attracting New Clients to IT Companies Through Social Networks. *Digital Transformation*. 31 (1), 22–30. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-1-22-30> (in Russian).
2. Shainesh G. (2004) Understanding Buyer Behaviour in Software Services Strategies for Indian Firms. *International Journal of Technology Management*. 28(1), 118–127. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2004.005056>.
3. Kethuda O., Ayoubi R. (2024) Perceived Market Leadership and Customer Engagement for IT Companies in the Enterprise Software Market: Evaluating the Role of Social Media Marketing. *Journal of Business-to-Business Marketing*. 33 (1), 147–166. <https://doi.org/10.1080/1051712X.2024.2446812>.
4. Ma L., Ou W., Lee C. S. (2022) Investigating Consumers' Cognitive, Emotional, and Behavioral Engagement in Social Media Brand Pages: A Natural Language Processing Approach. *Electronic Commerce Research and Applications*. 54. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2022.101179>.
5. Trunfio M., Rossi S. (2021) Conceptualising and Measuring Social Media Engagement: A Systematic Literature Review. *Italian Journal of Marketing*. 2021 (3), 267–292. <https://doi.org/10.1007/s43039-021-00035-8>.
6. Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko U. A. (2025) Methodological Foundations of Qualitative and Quantitative Analysis of IT Companies' Work in Social Networks. *Digital Transformation*. 31 (2), 5–12. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2025-31-2-5-12> (in Russian).

7. Agrawal A., Sheoran N., Suman S., Sinha G. (2022) Multi-touch Attribution for Complex B2B Customer Journeys using Temporal Convolutional Networks. *Companion Proceedings of the Web Conference 2022 (WWW '22 Companion). Virtual Event / Lyon, France, April 25–29.* 910–917. <https://doi.org/10.1145/3487553.3524670>.
8. Belozrov D. A., Belyaev N. A. (2018) Development of End-to-End Marketing Analytics for SaaS Solutions in the Business-to-Business Market (B2B). *Bulletin of South Ural State University. Series: Economics and Management.* 12 (3), 131–139. <https://doi.org/10.14529/em180315> (in Russian).
9. Ghosh S. (2025) *Startup Finance 2.0: Value Creation, Tokenization, and the Next Era of Startup Funding.* New York, Productivity Press Publ. <https://doi.org/10.4324/9781003614067>.
10. Madsen D. O. (2026) Parasocial Business: Platformed Authority and Organizational Influence in the Visibility Economy. *Administrative Sciences.* 16 (7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/admsci16070309>.
11. Batura M. P., Marakhina I. V., Parkhimenko V. A. (2025) Principles of Functioning of Algorithmic Systems of Social Networks. *Science and Innovations.* (12), 60–64. <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-12-60-64> (in Russian).
12. Diorio S., Howarth R. (2024) The Four Cs of B2B Targeting: Using Company, Customer, Channel and Contextual Data to Shrink the Audience Bullseye. *Applied Marketing Analytics: The Peer-Reviewed Journal.* 10 (3), 227–244.
13. Neumann N., Tucker C. E., Subramanyam K., Marshall J. (2023) Is First- or Third-Party Audience Data More Effective for Reaching the 'Right' Customers? The Case of IT Decision-Makers. *Quantitative Marketing and Economics.* 21, 519–571. <https://doi.org/10.1007/s11129-023-09268-7>.

Received: 20 August 2026

Accepted: 10 September 2026

Available on the website: 12 October 2026

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: marahina@bsuir.by
Марахина Инна Викторовна

Information about the authors

Batura M., Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the “New Educational Technologies” Research Laboratory, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

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

Parkhimenko U., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department of Economics, 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: marahina@bsuir.by
Marakhina Ina



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-14-21>

УДК 339.92

ЦИФРОВЫЕ ТРАНСНАЦИОНАЛЬНЫЕ КОМПАНИИ И ИХ ОЦЕНКА

Д. С. МЕДВЕДЕВСКИХ, Г. Г. ГОЛОВЕНЧИК

Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В статье на примере оценки цифровых транснациональных компаний анализируются недостатки и ограничения классических инструментов оценки транснационализации – индекса транснационализации, матрицы интернет-интенсивности и показателя легкости прямых иностранных инвестиций. Показано, что все три подхода опираются на физические активы, персонал и географически локализуемую выручку, тогда как цифровые транснациональные компании осуществляют международную экспансию преимущественно через нематериальные каналы. Предложен индекс цифровой транснационализации компаний, основанный на трех компонентах: географическом охвате, равномерности распределения аудитории и вовлеченности аудитории. Выполнен расчет этого индекса на примере компаний ByteDance и Meta Platforms, который показал, что метод позволяет зафиксировать качественно различные стратегии цифровой интернационализации, не доступные традиционным метрикам.

Ключевые слова: цифровые транснациональные компании, показатель легкости прямых иностранных инвестиций, индекс транснационализации, ByteDance, Meta Platforms, нематериальные активы, интернет-платформа, сетевой эффект.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Медведевских, Д. С. Цифровые транснациональные компании и их оценка / Д. С. Медведевских, Г. Г. Головенчик // Цифровая трансформация. 2026. Т. 32, № 3. С. 14–21. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-14-21>.

DIGITAL MULTINATIONAL COMPANIES AND THEIR VALUATION

DARIA MEDVEDEVSKIKH, GALINA GOLOVENTCHIK

Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. Using digital multinational companies as an example, this article analyzes the shortcomings and limitations of traditional transnationalization assessment tools – the transnationalization index, the internet intensity matrix, and the ease of foreign direct investment index. It demonstrates that all three approaches rely on physical assets, personnel, and geographically localized revenue, while digital multinational companies primarily expand internationally through intangible channels. A digital transnationalization index is proposed, based on three components: geographic reach, audience distribution, and audience engagement. This index is calculated using ByteDance and Meta Platforms as examples, demonstrating that the method can capture qualitatively different digital internationalization strategies that are not accessible using traditional metrics.

Keywords: digital multinational companies, ease of foreign direct investment index, transnationalization index, ByteDance, Meta Platforms, intangible assets, internet platform, network effect.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interests.

For citation. Medvedevskikh D., Goloventchik G. (2026) Digital Multinational Companies and Their Valuation. *Digital Transformation*. 32 (3), 14–21. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-14-21> (in Russian).

Введение

Цифровая трансформация мировой экономики формирует принципиально новый тип международных корпораций – цифровые транснациональные компании (ТНК), чья бизнес-модель построена на интернет-платформах, данных и сетевых эффектах. В отличие от традиционных ТНК, они способны охватывать сотни миллионов пользователей по всему миру, не создавая масштабного физического присутствия за рубежом. По данным ЮНКТАД (United Nations Conference on Trade and Development), к 2025 г. средний объем продаж на одну компанию из топ-100 цифровых ТНК достиг 32 млрд долл. США (против 8 млрд долл. в 2017-м) [1].

Между тем инструментарий оценки транснационализации не претерпел сопоставимых изменений. Индекс транснационализации (TNI), предложенный ЮНКТАД в 1995 г., по-прежнему остается основным количественным показателем. Матрица интернет-интенсивности и показатель легкости прямых иностранных инвестиций (FDI Lightness), разработанные в 2017-м как альтернатива, не устранили ключевого противоречия: все три метода апеллируют к физическому измерению международного присутствия, тогда как для цифровых ТНК именно оно является наименее репрезентативным.

Цель исследований – обосновать методологические ограничения трех существующих инструментов и предложить альтернативный подход – индекс цифровой транснационализации компании (ИЦТК), переносящий фокус оценки с активов на аудиторию.

Цифровые транснациональные компании и их отличия от традиционных

Понятие цифровой ТНК не имеет единого общепризнанного определения. ЮНКТАД трактует его как «предприятия, чья бизнес-модель основана на цифровых технологиях и которые владеют и управляют деятельностью по созданию стоимости на двух или более рынках за пределами страны своего происхождения» [1]. В отечественной литературе Е. В. Ребицкая [2] определяет цифровые ТНК как «компании, оперирующие в двух или более странах, которые осуществляют свою деятельность в цифровой форме и производят свои продукты, поставляемые в цифровом виде».

Принципиальные различия между цифровыми и традиционными ТНК затрагивают не отдельные характеристики, а саму логику создания и присвоения стоимости (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение цифровых и традиционных транснациональных компаний
Table 1. Comparison of digital and traditional multinational companies

Параметр	Транснациональная компания	
	цифровая	традиционная
Технологическая база	Интернет-платформы, данные, алгоритмы, ИИ	Физические технологии: производство, склады, оборудование
Физическое присутствие за рубежом	Минимально или отсутствует	Обязательно: заводы, офисы, дистрибуционные сети
Бизнес-модель	Платформенная: сетевые эффекты, двусторонние рынки	Линейная цепочка: производство→дистрибуция→продажа
Масштабируемость	Параллельный выход на множество рынков при низких предельных затратах	Поэтапная, требует капиталовложений в каждом регионе
Ключевой актив	Нематериальный: алгоритмы, данные, пользовательская база	Материальный: основные средства, производственные мощности
Рыночная капитализация	Значительно превышает балансовую стоимость активов	Коррелирует с объемом материальных активов
Примечание – Разработка авторов.		

Ключевым следствием этих различий является то, что международная деятельность цифровых ТНК практически не оставляет следа в традиционной статистике прямых иностранных инвестиций. Как фиксирует ЮНКТАД, цифровые ТНК зарабатывают около 70 % продаж за рубежом, притом что лишь 40 % их активов размещены за пределами страны базирования [1]. У традиционных ТНК эти доли, как правило, сопоставимы. Именно такое несоответствие делает применение стандартных метрик к цифровым компаниям методологически некорректным.

Методологические ограничения существующих инструментов оценки

Индекс транснационализации. Введен ЮНКТАД в 1995 г. и с тех пор применяется для формирования рейтингов крупнейших нефинансовых ТНК. Он рассчитывается как среднее арифметическое трех компонентов [1]

$$TNI = 1/3 \cdot (Af/At + Sf/St + Pf/Pt) \cdot 100 \%,$$

где Af, At – зарубежные и совокупные активы соответственно; Sf, St – зарубежные и совокупные продажи; Pf, Pt – зарубежный и общий персонал.

Применительно к цифровым ТНК каждый из трех компонентов TNI дает искаженную картину. Компонент зарубежных активов систематически занижен, поскольку основным «средством производства» цифровой ТНК являются нематериальные ресурсы: алгоритмы, программный код, базы данных, права интеллектуальной собственности. Они крайне сложно поддаются денежной оценке. Так, расчет доли зарубежных активов для Alibaba Group (по данным отчетности за 2025 г.) дает лишь 3,8 %, притом что компания оперирует в 230 странах и территориях [3].

Компонент зарубежного персонала также не отражает реальный масштаб интернационализации, поскольку цифровые платформы способны обслуживать пользователей по всему миру без значительного физического присутствия за рубежом. В свою очередь, показатель зарубежных продаж является более репрезентативным, однако и он имеет ограничения, так как цифровые платформы осуществляют продажи через централизованные системы, что затрудняет привязку выручки к конкретной стране. В результате применение TNI к цифровым ТНК приводит к занижению уровня их интернационализации, поскольку глобальная деятельность таких компаний осуществляется преимущественно через нематериальные и трансграничные механизмы, которые традиционный индекс учитывает лишь частично.

В докладе о мировых инвестициях 2017 г. ЮНКТАД предложила матрицу интернет-интенсивности для позиционирования компаний по степени цифровизации операций и сбыта [1], которая приведена на рис. 1.

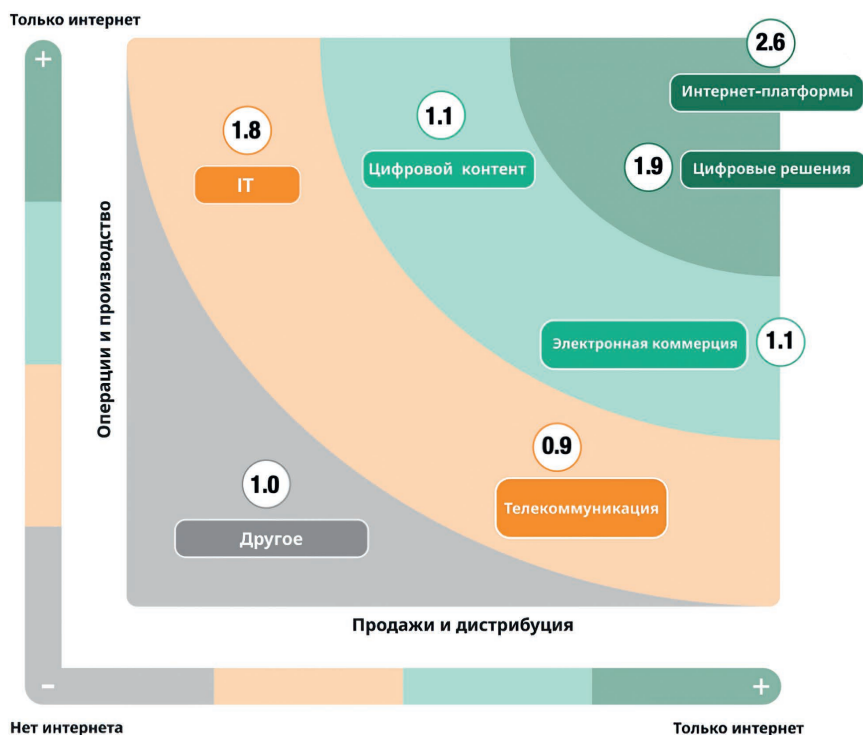


Рис. 1. Матрица интернет-интенсивности [1]
Fig. 1. Internet intensity matrix [1]

Матрица построена на двух осях, горизонтальная отражает степень цифровизации продаж и дистрибуции, вертикальная – степень цифровизации операций и производства. В правом верхнем углу располагаются полностью цифровые ТНК – интернет-платформы и поставщики

цифровых решений, в левом нижнем – нецифровые компании, частично переходящие к внедрению цифровых технологий. Промежуточное положение занимают компании со смешанными моделями: цифровой контент, электронная коммерция, IT и телекоммуникация. При этом прослеживается закономерность: по мере продвижения от нецифровых компаний к интернет-платформам индикатор легкости прямых иностранных инвестиций (ПИИ, FDI Lightness) последовательно увеличивается от 0,9 до 2,6. Это свидетельствует о том, что цифровым ТНК не требуется инвестировать в физическую инфраструктуру для масштабирования на новые рынки.

Позиционирование компании на матрице носит качественный характер и не дает единого числового результата, пригодного для динамического или кросс-корпоративного сравнения. Компании ByteDance и Meta попадают в одну категорию «полностью цифровых платформ», хотя их модели интернационализации кардинально различаются. Во-вторых, матрица описывает тип бизнес-модели, а не степень реальной интернационализации: компания остается в одной категории независимо от того, присутствует она в пяти или в 160-ти странах, охватывает 10 млн или 1,5 млрд пользователей. Таким образом, матрица является полезным классификационным инструментом, но не метрикой транснационализации.

Индикатор легкости прямых иностранных инвестиций. Предложен ЮНКТАД в 2017 г. Рассчитывается как отношение доли зарубежных продаж к доле зарубежных активов [1]

$$FDI\ Lightness = (Sf/St)/(Af/At).$$

Значение больше единицы означает «легкий» международный след: компания продает за рубежом непропорционально больше, чем инвестирует туда в форме активов. По данным ЮНКТАД, для интернет-платформ среднее значение составляло 2,6, тогда как у традиционных нецифровых компаний – 0,9 [1]. Авторами статьи произведен расчет ПИИ по данным финансовых отчетов компаний за 2025 г.: для Alibaba Group значение FDI Lightness составило 3,6, для Amazon – 2,3 (табл. 2).

Таблица 2. Расчет прямых иностранных инвестиций для Alibaba Group и Amazon
Table 2. Foreign direct investment calculation for Alibaba Group and Amazon

Показатель	Alibaba Group	Amazon
Доля Sf/St , %	13,3	23,0
Доля Af/At , %	~3,8 (расчетная оценка)	10,0
FDI Lightness	~3,6	2,3
Среднеотраслевой ориентир ЮНКТАД (e-commerce, 2017)	~1,1	
<i>Примечание</i> – Рассчитано авторами по данным годовых отчетов Alibaba Group [3] и Amazon [4] за 2025 г.		

Вместе с тем FDI Lightness воспроизводит тот же структурный изъян, что и TNI. Он строится на балансовых данных о зарубежных активах, которые у цифровых ТНК систематически занижены. Кроме того, индикатор полностью игнорирует пользовательское измерение: два конкурента с одинаковыми соотношениями продаж и активов могут кардинально различаться по охвату аудитории, глубине ее вовлеченности и географической диверсификации. Единой проблемой для всех трех методов является то, что они измеряют физическое международное присутствие компании, тогда как цифровые ТНК интернационализируются прежде всего через нефизические каналы. Необходим подход, переносящий единицу измерения с активов на аудиторию.

Концепция и компоненты индекса цифровой транснационализации компании

Международное присутствие нового поколения цифровых ТНК выражается не в зарубежных активах или офисах, а в пользовательском охвате. Традиционная ТНК, открывая завод в новой стране, несет крупные капитальные затраты. Цифровая платформа же может начать работу в десятках стран одновременно при минимальных вложениях – именно такие компании ЮНКТАД называет «рожденными глобальными». В этих условиях ключевым измерением международной цифровой ТНК становится не то, где расположены ее активы, а то, в скольких странах ее используют и насколько активно.

Оценку транснационализации, предлагаемую авторами статьи, можно проводить с помощью трех параметров:

- географический охват (G) – в скольких странах мира компания имеет реальную пользовательскую аудиторию. В отличие от TNI, отражает фактический охват по трафику;
- равномерность распределения аудитории (R) – насколько международная аудитория диверсифицирована. Компания может технически присутствовать в 150 странах, но если 90 % пользователей приходится на внутренний рынок, реальная интернационализация еще не состоялась;
- вовлеченность аудитории (E) – среднее время, которое пользователи проводят на платформе. Высокая вовлеченность свидетельствует о ценности продукта и определяет коммерческий потенциал платформы на зарубежных рынках.

ИЦТК рассчитывается как среднее арифметическое трех компонентов и принимает значения от 0 до 1. Данный подход разработан с опорой на методологию ЮНКТАД 2023 г. [5], однако адаптирован с учетом ограничений этой методологии для китайских ТНК, для которых данные Google Trends являются нерепрезентативными ввиду блокировки Google на территории КНР:

$$\text{ИЦТК} = (G + R + E)/3;$$
$$G = N_i/195, R = 1 - d, E = T_i/T_{\max},$$

где N_i – число стран присутствия; 195 – общее число стран мира; d – доля крупнейшего национального рынка в совокупной аудитории; T_i – среднее время пользователя в приложении, мин/сут.; $T_{\max}$ – максимальное среднее значение времени среди сопоставимых платформ, мин/сут.

Для расчета предложенного индекса были выбраны две компании – китайская ByteDance и американская Meta Platforms. Выбор обусловлен рядом факторов: обе компании относятся к числу крупнейших потребительских интернет-платформ мира и располагают сопоставимым масштабом аудитории, что делает сравнение методологически корректным. При этом ByteDance представляет китайскую модель цифровой интернационализации, тогда как Meta Platforms – западную, что позволяет проверить универсальность индекса применительно к компаниям из принципиально разных регуляторных и культурных контекстов. Также обе компании конкурируют в одном сегменте коротких видео (TikTok/Douyin и Instagram Reels) при различных стратегиях охвата аудитории, что делает их показательными для сравнения и демонстрации различительной способности ИЦТК.

ByteDance управляет двумя крупнейшими платформами коротких видео в мире: TikTok (160 стран) и Douyin (только Китай). Поскольку обе платформы созданы одной компанией на основе единого алгоритма, аудитория учитывается совокупно

$$G = 160/195 \approx 0,82.$$

Компания Meta Platforms присутствует в 190 странах [8]

$$G = 190/195 \approx 0,97.$$

Аудиторию TikTok составляют около 1590 млн пользователей [6], Douyin – около 766 млн [7]. Итого – примерно 2356 млн пользователей. Доля КНР (Douyin): $766/2356 \approx 0,325$

$$R = 1 - 0,325 \approx 0,68.$$

Аудитория приложений Meta – около 3,98 млрд пользователей [8]. Доля США – примерно 4,8 % [9]

$$R = 1 - 0,048 \approx 0,95.$$

По данным Backlinko (Q4 2023), пользователи TikTok проводят в приложении в среднем 95 мин/сут. – наивысший показатель среди всех социальных сетей [10]. Для Douyin – 73 мин/сут. [7]. Поскольку ByteDance объединяет обе платформы, итоговое время рассчитывается как средневзвешенное с учетом аудитории каждой из них (1590 млн и 766 млн пользователей соответственно), что дает около 88 мин/сут., $T_{\max} = 95$ мин/сут., $E = 88/95 \approx 0,93$.

По данным MixBloom за 2024 г., пользователи Facebook проводят на платформе около 31 мин/сут., Instagram – около 33 мин/сут. [11]. Поскольку Facebook является крупнейшей платформой экосистемы Meta по числу пользователей, показатель вовлеченности по экосистеме в целом принимается равным ~33 мин/сут.:

$$E = 33/95 \approx 0,35;$$

$$\text{ИЦТК (ByteDance)} = (0,82 + 0,68 + 0,93)/3 \approx 0,81;$$

$$\text{ИЦТК (Meta)} = (0,97 + 0,95 + 0,35)/3 \approx 0,76.$$

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительные результаты расчета ИЦТК для компаний ByteDance и Meta Platforms приведены в табл. 3.

Таблица 3. Сравнительные результаты оценки ByteDance и Meta Platforms по индексу цифровой транснационализации компании
Table 3. Comparative results of ByteDance and Meta Platforms assessment according to the digital transnationalization index of the company

Показатель	Индекс для компании	
	ByteDance	Meta Platforms
Страны присутствия	160	190
G	0,82	0,97
Доля домашнего рынка в аудитории, %	32,5 (КНР)	4,8 (США)
R	0,68	0,95
Среднее время на платформе, мин/сут.	~88 (средневзвешенное)	~33
E	0,93	0,35
Итого	0,81	0,76
Примечание – Рассчитано авторами на основе данных [6–9, 11].		

По итоговому значению ИЦТК ByteDance (0,81) опережает Meta Platforms (0,76). Объясняет этот результат компонент вовлеченности аудитории: разрыв E (0,93 против 0,35) отражает принципиальное различие бизнес-моделей. ByteDance строится на формате коротких видео с алгоритмом рекомендаций, который удерживает внимание пользователя значительно дольше, чем традиционная лента новостей и фотографий, преобладающих в рамках Meta Platforms. Компания Meta Platforms располагает Instagram Reels, однако Facebook по-прежнему формирует значительную долю аудитории компании и существенно снижает средний показатель вовлеченности по экосистеме в целом.

Принципиально важно, что полученные результаты расходятся с тем, что дали бы традиционные метрики. TNI для ByteDance был бы существенно занижен, так как основные активы сосредоточены в Китае, а зарубежный персонал относительно невелик. Матрица интернет-интенсивности отнесла бы обе компании к одной категории, не зафиксировав различий. FDI Lightness для ByteDance не применим напрямую, поскольку компания не публикует финансовую отчетность.

Сравнение наглядно подтверждает, что широкий охват Meta Platforms и глубокая вовлеченность ByteDance представляют собой две самостоятельные стратегии цифровой интернационализации, каждая из которых имеет собственные конкурентные преимущества. Ни одна из традиционных метрик не в состоянии зафиксировать это различие в числовом выражении.

Заключение

1. Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что цифровые транснациональные компании принципиально отличаются от традиционных по структуре активов, логике международной экспансии и способу создания стоимости. Их ключевыми ресурсами являются нематериальные активы – алгоритмы, данные, пользовательские сети, а международное присутствие реализуется через трансграничные потоки данных и сетевые эффекты, а не через физические инвестиции.

2. Классический индекс транснационализации систематически занижает степень интернационализации цифровых транснациональных компаний, поскольку оценивает исключительно физическое присутствие. Матрица интернет-интенсивности ЮНКТАД позволяет классифици-

ровать компании по типу бизнес-модели, однако не дает числового результата для сравнения. Показатель прямых иностранных инвестиций по-прежнему опирается на данные об активах, систематически занижающие реальное присутствие цифровых компаний.

3. Предложенный индекс цифровой транснационализации компании переносит единицу измерения с активов на аудиторию, объединяя географический охват, равномерность распределения аудитории и вовлеченность аудитории. Расчет данного индекса на примере ByteDance (0,81) и Meta Platforms (0,76) показал, что он позволяет зафиксировать качественно различные стратегии цифровой интернационализации и точнее отражает реальный коммерческий масштаб компаний на международной арене.

4. Практическая значимость индекса цифровой транснационализации компании состоит в том, что он применим для кросс-корпоративного сравнения потребительских интернет-платформ, не требует данных финансовой отчетности и учитывает специфику как западных, так и китайских цифровых транснациональных компаний. Перспективным направлением дальнейших исследований является адаптация индекса для B2B-цифровых транснациональных компаний, где пользовательское взаимодействие измеряется иначе, чем в потребительских платформах.

Список литературы

1. UNCTAD. World Investment Report 2017: Investment and the Digital Economy. Geneva: UNCTAD, 2017.
2. Ребицкая, Е. В. Цифровые транснациональные корпорации: правовой статус и особенности привлечения к ответственности в случае нарушения прав человека / Е. В. Ребицкая // Информационная безопасность личности и государства в современном международном праве: материалы круг. стола, Минск, 12 апр. 2022 г. Минск: Белор. гос. ун-т, 2022. С. 195–200.
3. Alibaba Group. Annual Report 2025 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.alibabagroup.com>. Date of access: 18.05.2026.
4. Amazon.com, Inc. Annual Report 2025 (Form 10-K for Fiscal Year Ended December 31, 2024). Seattle: Amazon, 2025.
5. UNCTAD. World Investment Report 2023: Investing in Sustainable Energy for All. Geneva: UNCTAD, 2023.
6. TikTok Revenue and Usage Statistics (2024) [Electronic resource] // Business of Apps. Mode of access: <https://www.businessofapps.com/data/tik-tok-statistics>. Date of access: 10.05.2026.
7. Douyin User Demographics 2025: Reaching Your Audience in China [Electronic resource] // Nanjing Marketing Group. Mode of access: <https://nanjingmarketinggroup.com/blog/douyin-user-demographics>. Date of access: 15.04.2026.
8. Cumulative Number of Monthly Meta Product Users as of 4th Quarter 2023 [Electronic resource] // Statista. Meta Platforms. 2024. Mode of access: <https://www.statista.com/statistics/947869/facebook-product-mau>. Date of access: 10.05.2026.
9. Facebook Users in the United States 2024 [Electronic resource] // Statista. Mode of access: <https://www.statista.com>. Date of access: 10.05.2026.
10. TikTok Statistics You Need to Know in 2026 [Electronic resource] // Backlinko. 2026. Mode of access: <https://backlinko.com/tiktok-users>. Date of access: 10.05.2026.
11. Average Time Spent on Social Media Per Day 2024 [Electronic resource] // MixBloom. 2024. Mode of access: <https://www.mixbloom.com/resources/average-time-spent-on-social-media-2022>. Date of access: 10.05.2026.

Поступила 21.05.2026

Принята в печать 24.06.2026

Доступна на сайте 12.10.2026

References

1. UNCTAD (2017) *World Investment Report 2017: Investment and the Digital Economy*. Geneva, UNCTAD.
2. Rebitskaya E. V. (2022) Digital Transnational Corporations: Legal Status and Liability for Human Rights Violations. *Information Security of the Individual and the State in Modern International Law: Proceedings of a Round Table, Minsk, Apr. 12*. Minsk, Belarusian State University. 195–200 (in Russian).
3. Alibaba Group (2025) *Annual Report 2025*. Available: <https://www.alibabagroup.com> (Accessed 18 May 2026).
4. Amazon.com, Inc. (2025) *Annual Report 2025 (Form 10-K for Fiscal Year Ended December 31, 2024)*. Seattle, Amazon.
5. UNCTAD (2023) *World Investment Report 2023: Investing in Sustainable Energy for All*. Geneva, UNCTAD.
6. TikTok Revenue and Usage Statistics. *Business of Apps*. Available: <https://www.businessofapps.com/data/tik-tok-statistics> (Accessed 10 May 2026).
7. Nanjing Marketing Group (2025) *Douyin User Demographics 2025: Reaching Your Audience in China*. Available: <https://nanjingmarketinggroup.com/blog/douyin-user-demographics> (Accessed 15 April 2026).

8. Cumulative Number of Monthly Meta Product Users as of 4th Quarter 2023. *Statista. Meta Platforms*. Available: <https://www.statista.com/statistics/947869/facebook-product-mau> (Accessed 10 May 2026).
9. Facebook Users in the United States 2024. *Statista*. Available: <https://www.statista.com> (Accessed 10 May 2026).
10. TikTok Statistics You Need to Know in 2026. *Backlinko*. Available: <https://backlinko.com/tiktok-users> (Accessed 10 May 2026).
11. Average Time Spent on Social Media Per Day 2024. *MixBloom*. Available: <https://www.mixbloom.com/resources/average-time-spent-on-social-media-2022> (Accessed 10 May 2026).

Received: 21 May 2026

Accepted: 24 June 2026

Available on the website: 12 October 2026

Вклад авторов

Медведевских Д. С. составила концепцию исследования, выполнила анализ ограничений существующих методов оценки транснационализации цифровых транснациональных корпораций, разработала индекс цифровой транснационализации компании, провела расчеты на примере ByteDance и Meta Platforms, интерпретировал результаты, подготовила рукопись статьи.

Головенчик Г. Г. выполнила научное руководство исследованием, разработала теоретико-методологические положения исследования цифровой экономики и цифровых транснациональных корпораций, сформировала научный подход к оценке транснационализации, провела методологическое консультирование в области цифровой экономики и научное редактирование рукописи.

Authors' contribution

Medvedevskikh D. developed the concept of the study, analyzed the limitations of existing methods for assessing the transnationalization of digital multinational corporations, developed a company digital transnationalization index, conducted calculations using ByteDance and Meta Platforms as examples, interpreted the results, and prepared the manuscript.

Goloventchik G. provided scientific supervision of the study, developed theoretical and methodological principles for the study of the digital economy and digital transnational corporations, formed a scientific approach to assessing transnationalization, provided methodological consulting in the field of digital economy and scientific editing of the manuscript.

Сведения об авторах

Медведевских Д. С., студ., Белорусский государственный университет

Головенчик Г. Г., канд. экон. наук, доц., доц. каф. международных экономических отношений, Белорусский государственный университет

Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,
Минск, ул. Ленинградская, 20
Белорусский государственный университет
Тел.: +375 44 738-56-42
E-mail: medvedevskihdasha@mail.ru
Медведевских Дарья Сергеевна

Information about the author's

Medvedevskikh D., Student, Belarusian State University

Goloventchik G., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of International Economic Relations, Belarusian State University

Address for correspondence

220030, Republic of Belarus,
Minsk, Leningradskaya St., 20
Belarusian State University
Tel.: +375 44 738-56-42
E-mail: medvedevskihdasha@mail.ru
Medvedevskikh Daria



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-22-31>

УДК 001.895:338.45:620

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ КОМПОНЕНТ ИННОВАЦИОННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ УСТОЙЧИВОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

О. В. АВДЕЙЧИК

Гродненский государственный аграрный университет (Гродно, Республика Беларусь)

Аннотация. Рассмотрен интеллектуальный компонент инновационного функционирования экономики устойчивого социально-экономического развития. Показано увеличение роли интеллектуальной составляющей в деятельности хозяйственных комплексов, направленной на повышение потребительских характеристик выпускаемой продукции различного функционального назначения, увеличения ее конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках. Отмечено снижение доли продукции, новизна и оригинальность которой защищена патентами на изобретения, полезные модели, промышленные образцы. Показаны пути совершенствования интеллектуального компонента инновационной деятельности путем создания кластерных структур научных, образовательных и производственных организаций и учреждений.

Ключевые слова: инновационное функционирование, устойчивое развитие, интеллектуальный компонент, система интеллектуального обеспечения, кластерные структуры.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Авдейчик, О. В. Интеллектуальный компонент инновационного функционирования экономики устойчивого социально-экономического развития / О. В. Авдейчик // Цифровая трансформация. 2026. Т. 32, № 3. С. 22–31. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-22-31>.

THE INTELLECTUAL COMPONENT OF THE INNOVATIVE FUNCTIONING OF AN ECONOMY OF SUSTAINABLE SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT

OLGA AVDEYCHIK

Grodno State Agrarian University (Grodno, Republic of Belarus)

Abstract. The intellectual component of the innovative functioning of an economy characterized by sustainable socio-economic development is examined. The study highlights the growing role of the intellectual component in the activities of economic entities aimed at enhancing the consumer attributes of products – regardless of their intended function – and boosting their competitiveness in both domestic and international markets. A decline is noted in the share of products whose novelty and originality are protected by patents for inventions, utility models, and industrial designs. Finally, the paper outlines ways to improve the intellectual component of innovation activities through the creation of cluster structures comprising scientific, educational, and industrial organizations and institutions.

Keywords: innovative functioning, sustainable development, intellectual component, intellectual support system, cluster structures.

Conflict of interests. The author declares that there is no conflict of interests.

For citation. Avdeychik O. (2026) The Intellectual Component of the Innovative Functioning of an Economy of Sustainable Socio-Economic Development. *Digital Transformation*. 32 (3), 22–31. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-22-31> (in Russian).

Введение

Экономика Беларуси функционирует в соответствии с принятой на государственном уровне концепцией устойчивого социально-экономического развития на период до 2035 г. [1, 2]. При реализации данной концепции экономический комплекс, включающий промышленное производство товарной продукции различного функционального назначения, систему менеджмента, обеспечивающую реализацию и техническое обслуживание изделий у потребителя, комплекс предприятий по сбору и переработке амортизированной продукции для контролируемого техногенного влияния на компоненты окружающей среды, базируется на инновационных разработках, обеспечивающих необходимые эксплуатационные характеристики функциональных изделий, энерго- и ресурсосберегающие технологии их производства и эффективные технологии рециклинга [3, 4]. Этот аспект предполагает активное использование интеллектуального потенциала, обеспечивающего создание инновационных производств для повышения эффективности и конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках с учетом требований концепта экологизации.

В процессе исследований рассмотрен интеллектуальный компонент инновационного функционирования отечественной экономики при реализации концепта устойчивого социально-экономического развития.

Результаты исследований и их обсуждение

Современная экономика функционирует и развивается на расширенном использовании интеллектуального потенциала, обеспечивающего разработку и производство товарной продукции с повышенными параметрами потребительских характеристик и ее конкурентоспособность при многоаспектной реализации требований экологического императива [3]. Согласно [4], именно интеллектуальные ресурсы в системе инновационного воспроизводства через коммерциализацию инноваций и объектов интеллектуальной собственности определяют интеллектуальный капитал и, как следствие, интеллектуальный потенциал развития национальной экономики. Следует отметить некоторые неточности в данном утверждении. Так, интеллектуальные ресурсы (ИР) функционируют в системе инновационного воспроизводства посредством реализации новых разработок (инноваций) как защищенных документацией на объекты интеллектуальной собственности (патентами), так и не защищенных, представляющих собой продукт интеллектуальной деятельности в виде технической документации, согласно которой осуществляется промышленное производство разработки (проектная документация, технологические процессы, технологические регламенты и др.). Инновационная значимость данных объектов при этом не снижается, хотя они не защищены законодательно от несанкционированного использования другими производителями, что может привести к снижению экономических дивидендов и потере авторского права на разработку. Поэтому разделять «инновации» и «объекты интеллектуальной собственности» как самостоятельные составляющие производственной деятельности некорректно, поскольку к инновациям относят и защищенные и незащищенные объекты интеллектуальной деятельности работников субъекта хозяйствования.

В [5] отмечается, что ИР определяются как совокупность способностей индивидуумов, задействованных в научно-исследовательской и инновационной деятельности национальной экономики. Однако по мнению автора данной статьи, ИР определяются, прежде всего, знаниями индивидуумов, которые находятся в непрерывном совершенствовании и обуславливают способности выполнять системную научно-исследовательскую и инновационную деятельность. Отнесение ИР к совокупности способностей индивидуумов выдвигает на первый план способности к действию без учета интеллекта работника, определяемого совокупностью знаний.

Согласно [5, 6], основой ИР является их структура, состоящая из физических, ментальных, социальных, экономических и духовных ресурсов. Подобная структура позволяет сделать вывод, что содержание способностей ИР составляют исследователи, задействованные в научно-исследовательской и инновационной деятельности, имеющие высшее образование, а также ученые степени кандидата и доктора наук. Это – упрощенное представление ИР, поскольку знания, составляющие основу (содержание) интеллекта, являются неотъемлемым признаком всех участников инновационного процесса, имеющих и не имеющих высшего образования и степеней кан-

дидата и доктора наук. Инновационный процесс включает не только стадию разработки нового решения, но и стадию его изготовления, реализации, обслуживания и утилизации (рециклинга). На этих стадиях интеллект формируется знаниями работников с различным уровнем профессиональной подготовки и образования. Кроме того, в [5, 6] отмечается, что развитие ИР происходит от базового (физические и ментальные ресурсы) к высокому (социальные и эмоциональные ресурсы) и высшему (духовные и глубинные ресурсы) уровням. Не анализируя содержание терминов, определяющих эти ресурсы, следует указать на условность приведенной структуры и необоснованность выделения духовных и глубинных ресурсов в качестве составляющих высшего уровня. Так, интеллект человека представляет собой совокупность всех видов знаний, приобретенных им в ходе жизнедеятельности, а отмеченные структурные составляющие являются лишь методом их использования в мыслительной деятельности. Социально-экономическое развитие Республики Беларусь неразрывно связано с инновационным развитием экономики. Ориентиры и пути движения определяются стратегиями и программами, которые разрабатываются в системе государственного прогнозирования и планирования. Однако инновационное развитие основано на оптимальном использовании интеллектуального потенциала работников всех уровней. Установление ориентиров и путей движения не определяет эффективность их реализации. И без учета интеллектуальной составляющей, определяющей направления реализации инновационных проектов, прогнозируемые системы не могут быть использованы в необходимом объеме и в планируемые сроки. Поэтому интеллектуальная составляющая во всех аспектах ее реализации (в формировании, функционировании, активизации, креативной компоненты, направленной на разработку новшеств, эффективную защиту новшеств в отечественной и международной системах в соответствии с действующим законодательством, производство инновационной продукции с новыми параметрами потребительских характеристик, разработку систем эффективной ее реализации, обслуживания, сбора и рециклинга амортизированной продукции на основе концепта устойчивого развития) представляет собой основу стратегии инновационного функционирования экономики в рамках принятого концепта устойчивого социально-экономического развития на долгосрочный период.

Анализ экономических показателей, характеризующих инновационную стратегию, определяющую реализацию Национальной стратегии устойчивого развития (НСУР), указывает на ряд негативных тенденций [7]. Особое внимание привлекает коэффициент изобретательской активности, который находится в диапазоне 0,4–0,6, в то время как у России этот показатель составляет 1,63 [8] и находится в тесной связи с численностью исследователей, имеющих ученые степени доктора и кандидата наук, которая имеет тенденцию к снижению [7]. Учитывая, что среди остепененных исследователей только часть занимается проблемами разработки новых материалов, технологий их получения и переработки, средств лечения, сортов растений, интегральных схем, средств автоматизации и механизации и другими направлениями эффективной работы действующих отраслей экономики и системы обеспечения безопасной и комфортной деятельности, можно утверждать, что этой численности крайне недостаточно для инновационного обеспечения во всех сферах деятельности социума. При этом не рассматривается возрастной ценз исследователей, имеющих ученую степень доктора или кандидата наук. В любом случае данные [6] указывают на тот факт, что в среднем на одну организацию, выполняющую научные исследования и разработки (в 2021 г. – 445 организаций) приходится порядка 1,2 исследователя с ученой степенью доктора наук и 6,3 с кандидатской степенью. Этот показатель однозначно указывает на низкий уровень научных кадров, занимающихся профессиональной исследовательской деятельностью.

В целях повышения конкурентоспособности страны инновационная деятельность была ориентирована на поддержку и обеспечение новыми технологиями процессов модернизации промышленности [9–11]. Согласно [5, с. 601], осуществлялась институциональная доработка инновационно ориентированной экономической системы. Однако анализ документов, подтверждающих это утверждение, указывает, что в области интеллектуального обеспечения инновационной деятельности разработаны только нормативные документы, регулирующие действие работников социальной и производственной сфер в области создания интеллектуальных продуктов [12] без установления направлений изменения числа объектов интеллектуальной собственности в виде патентов на изобретения, промышленные образцы и полезные модели, которые изменили

бы количество новых инновационных разработок, реализуемых в различных сферах деятельности социума. Поэтому утверждение о том, что управление национальной инновационной системой ориентировано на постиндустриальный этап развития экономики (совершенствование институциональной среды, развитие высоких технологий, развитие рынка интеллектуальной собственности, рынка наукоемких товаров и услуг, рынка инвестиций, ориентирующих вектор движения к 5-му, 6-му технологическим укладам [13; 5, с. 602]), не подтверждается крайне низким показателем числа объектов интеллектуальной собственности в виде патентов на изобретения, полезные модели, промышленные образцы, выданные разработчикам в период 2017–2022 гг. [14]. Это свидетельствует о недостатке интеллектуального обеспечения государственной стратегии инновационного развития в рамках концепта НСУР. То есть кадровое обеспечение инновационной экономики [15] не выполнено в необходимой степени ни по наличию кадров высокой квалификации, ни по числу патентных разработок, сделанных ими в ходе реализации стратегии устойчивого развития. Поэтому стратегические приоритеты развития национальной инновационно ориентированной экономики, изложенные в [16], интеллектуально не обеспечены, что препятствует их полномасштабному выполнению в заданные сроки.

В стратегии «Наука и технологии – 2040» [16] сформулировано принципиально новое видение долгосрочного инновационного развития страны – производство инноваций на основе интеллектуализации [5, с. 603]. Однако это видение не может быть реализовано без принципиального изменения отношения к системе интеллектуального обеспечения инновационной деятельности [17], которая должна найти ресурсы для разработки новаций нового поколения, в том числе с использованием цифровых технологий, и реализации инновационной продукции с потребительскими характеристиками и конкурентоспособностью, превосходящими аналоги на внутреннем и внешнем рынках. Поэтому в ключевых направлениях реализации программы развития инновационной деятельности (стимулирования научно-исследовательской и инновационной деятельности путем освобождения технологического оборудования, запасных частей, соответствующих 5-му, 6-му технологическому укладу, от налогов на добавленную стоимость, ввозимых таможенных пошлин; повышение роли креативного класса – ученых, изобретателей, предпринимателей-новаторов и других [5, с. 604; 18]) основная роль принадлежит развитию системы интеллектуального обеспечения инновационной деятельности и принципиальному изменению системы подготовки квалифицированных кадров через систему высшего образования.

В [17, 19, 20] отмечены проблемы реализации современной подготовки кадров для инновационной экономики, недостаточность эффективной деятельности отечественных вузов в выполнении научно-исследовательских проектов государственного и межгосударственного уровней, крайне низкий уровень патентной деятельности, который свидетельствует о неготовности высшей школы к полноценной подготовке креативных кадров. Об этом свидетельствуют низкий уровень патентных разработок в ведущих вузах республики и отсутствие системного подхода к организации инновационной деятельности по реализации разработанных новшеств в отраслях промышленности и менеджменте. Факт отсутствия патентов в отчетных показателях деятельности университетов показывает практическое неучастие их в разработке новых технических решений в области материаловедения, технологии получения и переработки материалов в изделия, новых конструкций машин, приборов, механизмов, в том числе касающихся конвергентных NBIC-технологий.

Особенно негативная ситуация сложилась в провинциальных вузах, которые традиционно испытывали недостаток квалифицированных кадров для выполнения научно-исследовательских проектов высокого уровня и преподавательской деятельности. В этих вузах системная научно-исследовательская и патентно-лицензионная деятельность находится в стадии становления. Поэтому современные разработки в ключевых направлениях развития экономики и социальной сферы составляют минимальное число, что не позволяет использовать новшества для создания инновационной продукции, определяющей устойчивое социально-экономическое развитие региона. Примером этому является функционирование экономических отраслей Гродненского региона, характеризующееся крайне низким числом запатентованных разработок, имеющих новизну и конкурентоспособность в республике и за рубежом. Так, ведущее машиностроительное предприятие региона ОАО «Белкард», на протяжении более 20 лет успешно сотрудничающее

с академическими и образовательными организациями республики, производило новую продукцию, защищенную более 30 патентами на изобретения, полученными в ведомствах Беларуси, России, Украины. Новые конструкции карданных валов, функциональные импортозамещающие покрытия для шлицевых соединений карданных валов, смазки, обеспечивающие повышенную износостойкость узлов трения карданных валов, технологии получения элементов карданных валов путем специальной термической обработки, обеспечивающей формирование градиентной наноструктуры с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик, позволили разработать новые конструкции карданных валов для автомобильной, сельскохозяйственной, железнодорожной и специальной техники «Белкард-2000», которые по эксплуатационным и стоимостным параметрам не уступали лучшим зарубежным аналогам и являлись эффективным инновационным изделием для экономики региона, республики и стран СНГ. В ходе эффективной научно-исследовательской и патентной деятельности в рамках совместного научно-учебно-производственного кластера учебно-методического центра (УМЦ) «Уникард» были защищены две кандидатские, пять магистерских диссертаций, выполнено более 20 дипломных работ по проблемам совершенствования конструкций карданных валов и разработки новых функциональных материалов для изготовления комплектующих элементов. УМЦ «Уникард», располагающий специальной научно-исследовательской лабораторией для проведения системных научно-исследовательских работ в рамках заданий государственных программ, был оснащен современным оборудованием, включающим суперкомпьютер «СКИФ», атомно-силовой микроскоп, рентгеновский центр, металлографические микроскопы и другое функциональное оборудование [21]. Однако смена руководства ОАО «Белкард» и изменение концепции функционирования Гродненского государственного университета имени Янки Купалы не позволили развивать эффективное направление создания и развития интеллектуального потенциала для реализации инновационных разработок, определяющих региональное машиностроение и позволяющих успешно воплощать требования НСУР. В настоящее время ОАО «Белкард» не проводит системных научно-исследовательских работ по совершенствованию выпускаемой продукции, резко снизил патентную активность, что однозначно указывает на неэффективность предпринятых организационных мер, выразившихся в закрытии научно-учебно-производственного кластера, обеспечивающего устойчивое формирование и развитие интеллектуального потенциала предприятия для успешной реализации стратегии НСУР.

Рассмотренная негативная тенденция характерна и для других промышленных предприятий Гродненского региона, определяющих экономическое и социальное развитие – ОАО «Гродненский механический завод», УП «Цветлит», ОАО «БелТАПАЗ», ОАО «Белворполимер», ОАО «Лакокраска» и др. Эффективное сотрудничество данных предприятий с образовательными и научными учреждениями (Гродненским государственным университетом имени Янки Купалы, Гродненским государственным аграрным университетом и другими в рамках совместных лабораторий «Уникард», «Унипол», «Унихим» и др.) обеспечивало разработку новых технических решений для создания и производства инновационной продукции с повышенными параметрами потребительских характеристик и конкурентоспособностью, подтвержденными получением патентов на изобретения, промышленные образцы и полезные модели. Ликвидация этих эффективных подразделений интеллектуального обеспечения инновационной деятельности привела к значительному падению инновационной продукции, защищенной от несанкционированного использования патентами и определяющей уровень отечественных разработок на региональном, государственном и международном рынках.

В [5, с. 604] приведены приоритетные направления развития, которые предполагают не только повышение уровня развития кадров, обеспечивающего экономические процессы Беларуси, но и формирование и развитие креативного класса, определяющего результативность научно-исследовательской и изобретательской деятельности. Отмечено также, что реализация НСУР происходит за счет повышения роли ИР, которое выражается в усилении интеллектуального потенциала. Такое усиление возможно за счет роста исследователей со степенями доктора и кандидата наук, стимулирования развития молодых ученых [5, с. 604]. Следует отметить, что это мнение не полностью отражает сложившуюся ситуацию в научных и образовательных учреждениях, так как при общем значительном количестве остепененных сотрудников количество инновационных разработок, обладающих новизной и конкурентоспособностью, защищенных патентами

на изобретения, полезные модели и промышленные образцы, существенно снижается на протяжении относительно небольшого периода 2017–2022 гг. [14].

Эффективная научно-исследовательская и изобретательская деятельность [5] возможна при изменении системы подготовки профессиональных кадров путем глубокого изучения основ управления интеллектуальной деятельностью в образовательном процессе и ориентации результатов выполнения научно-исследовательских проектов в рамках государственных заданий на создание патентоспособных разработок. О снижении роли патентных разработок в деятельности научных и учебных заведений, определяющих развитие интеллектуального потенциала страны, свидетельствует и факт резкого уменьшения числа патентных разработок, составляющих основу диссертационных исследований. Например, докторские диссертации ряда сотрудников Института механики металлополимерных систем АН БССР (Л. С. Пинчука, В. А. Гольдаде, А. С. Неверова, В. А. Довгяло, В. А. Струка и др.) сопровождалась разработкой новых решений, защищенных авторскими свидетельствами в количестве от 50 до 100 единиц, что свидетельствовало о высоком научном и прикладном уровне представленных диссертаций. Этот институт был инициатором реализации подхода к выполнению научных исследований: каждый научный работник – изобретатель, каждую научную разработку – на уровень изобретения. Такой подход был успешно реализован в деятельности института в период 80–90-х гг. прошлого столетия и позволил получить по разработкам сотрудников более 120 авторских свидетельств в год, подтверждающих высокий уровень выполняемых НИР и ОКР. Это дало возможность институту занимать ведущие положения в области важнейшей составляющей развития страны – функционального материаловедения на основе высокомолекулярных матриц, обеспечивающего конструкции машин, механизмов и технологического оборудования высокоэффективными элементами с повышенными параметрами эксплуатационных характеристик. Выполнение НИР и ОКР на уровне изобретений позволяло институту разрабатывать новые технические решения в области материаловедения и технологии изготовления и переработки композитов в изделия, обладающие существенной новизной и эффективностью. Правопреемник этого института – Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси – в настоящее время разрабатывает существенно меньше патентоспособных решений, что указывает на резкое уменьшение интеллектуального потенциала этой организации, которая определяла направления развития отечественного полимерного материаловедения и подготовку кадров высшей квалификации для отечественной экономики.

В [5] со ссылкой на [22] предложена таблица значимости ИР в системе стратегического управления инновационно ориентированной системой Республики Беларусь, дана оценка значимость ИР в зависимости от этапа перестройки экономической системы в диапазоне значений от низкой до высокой. При этом этапы трансформационной перестройки (1991–1995 гг.), построения социально ориентированной рыночной экономики (1996–2000 гг.) оценены значимостью ИР как низкие, этапы перехода к постиндустриальному обществу (2001–2005 гг.), повышения конкурентоспособности (2006–2010 гг.), инновационного развития, повышающего конкурентоспособность (2011–2015 гг.), – как средние, а этапы интеллектуального развития, обеспечивающие экономический рост (2016–2020 гг.), и интеллектуализации экономики, обеспечивающей экономический рост (2021–2025 гг.), – как высокие. Однако разработанная таблица содержит методологические несоответствия и неадекватно оценивает значимость ИР в системе стратегического управления. Так, деление на периоды с 1991 г. по 2025 г. не соответствует реальной ситуации развития экономической системы, поскольку построение рыночной экономики происходит и в настоящее время путем совершенствования системы управления экономическими субъектами различной формы собственности, а переход к постиндустриальному обществу осуществляется в настоящее время, так как значительная часть субъектов хозяйствования функционирует с использованием технологий и методов управления, характерных для 4-го и 5-го экономических укладов. Выделенный период 2006–2010 гг. как период повышения конкурентоспособности не закончен и находится в стадии становления, поскольку значительное число промышленных субъектов хозяйствования производит продукцию, не соответствующую инновационной [14]. Поэтому период повышения конкурентоспособности развивается и в настоящее время. Значимость ИР в системе стратегического управления инновационно ориентированной экономической системой Республики Беларусь [5] приведена в табл. 1.

Таблица 1. Значимость интеллектуальных ресурсов в системе стратегического управления инновационно ориентированной экономической системой Республики Беларусь
Table 1. The significance of intellectual resources in the strategic management system of the innovation-oriented economic system of the Republic of Belarus

Этап	Период, год	Название этапа	Значимость ИР
1	1991–1995	Трансформационная перестройка	Низкая
2	1996–2000	Построение социально ориентированной рыночной экономики	Низкая
3	2001–2005	Переход к постиндустриальному обществу	Средняя
4	2006–2010	Повышение конкурентоспособности	Средняя
5	2011–2015	Инновационное развитие, обеспечивающее конкурентоспособность	Средняя
6	2016–2020	Инновационное развитие, обеспечивающее экономический рост	Высокая
7	2021–2025	Интеллектуализация экономики, обеспечивающая экономический рост	Высокая

Период экономического развития, характеризующийся 2006–2010 гг., назван этапом повышения конкурентоспособности, с 2011 по 2015 гг. – периодом инновационного развития, обеспечивающего экономический рост. Однако сведения, представленные в [7, 8], не подтверждают такого деления, поскольку число промышленных предприятий, производящих инновационную продукцию высокого уровня, составляет относительно небольшую долю в общем числе субъектов хозяйствования [14]. Республика Беларусь находится в настоящее время в периоде становления экономического развития, соответствующего инновационной стратегии, характеризующейся производством товаров и услуг, соответствующих лучшим аналогам на внутреннем и внешнем рынках, новизна которых подтверждена патентами на изобретения, полезные модели, промышленные образцы. Однако сведения, представленные в [14], указывают на низкий уровень защищенности отечественных разработок патентной документацией, что требует разработки новых методологических подходов по интенсифицированию этого важного вида деятельности при реализации стратегии инновационного развития.

В табл. 1 приведены оценки от низкой до высокой [5]. Однако это некорректная классификация, так как, согласно [17], экономическое развитие всегда базируется на интеллектуальных продуктах различной формы реализации, адекватных сложившейся ситуации. Сам термин «развитие» предполагает использование новых интеллектуальных решений в организации эффективного функционирования социума в экономической, социальной, политической, административной сферах его деятельности. Поэтому отнесение ИР в периоды 2006–2010 гг. и 2011–2015 гг. к значимости «средняя» является не только не корректным, но и противоречащим функционированию отечественной экономики, которая интенсивно развивается исходя из инновационного концепта. Об этом свидетельствует и количество патентных решений, разработанных и реализованных в эти периоды, превосходящее число патентов, выдаваемых в последние годы [14].

Интеллектуальный потенциал, созданный до 1991–1995 гг., позволил экономике Беларуси сохранить ключевые позиции в области машиностроения, энергетики, химической и перерабатывающей промышленности и развить их в условиях суверенного государства. Оценка значимости ИР за 2016–2020 и 2021–2025 гг. как «высокая», скорее, является необоснованной, поскольку значительное число субъектов хозяйствования функционирует с использованием традиционных технологий, производя продукцию традиционного назначения, не имеющую характерных преимуществ перед аналогами и не защищенную патентами на изобретения, полезные модели и промышленные образцы [14].

Интеллектуальный компонент выпускаемой продукции, подтвержденный, прежде всего, патентной документацией, является недостаточным для эффективного инновационного развития в соответствии с НСУР. В [5] предложены дополнительные меры по государственной поддержке стимулирования развития ИР. К таким мерам относятся гуманизация управления, повышение самоответственности, снижение барьеров для защиты докторских и кандидатских диссертаций, повышение оплаты труда ученых, расширение системы грантов. Безусловно, предложенные меры окажут влияние на развитие отечественного интеллектуального потенциала, который определяет реализацию государственной стратегии НСУР. Однако эти меры являются локальными и не определяющими направления становления в Беларуси интеллектуальной экономики, которая харак-

теризуется оптимальным использованием решений высокого уровня для организации управления и функционирования всех сфер жизнедеятельности социума в рамках концепта устойчивого развития.

Заключение

Необходима реализация методологических подходов к системе подготовки квалифицированных кадров для различных сфер деятельности: административной, производственной, социальной, направленных на трансформирование образовательного процесса, активизацию деятельности инженерных кадров в различных сферах производства, расширение полномочий Национального центра интеллектуальной собственности по обеспечению уровня патентной защиты разработок, выполненных в рамках государственных заданий. Эти подходы могут быть успешно реализованы при применении концепта интеллектуального насилия [17], реализации интеграционного принципа формирования кластерных структур, включающих научные, образовательные и производственные компоненты, что позволят активизировать деятельность работников различных сфер по созданию и практическому использованию интеллектуальных продуктов современного уровня в интересах развития государства в соответствии с принятой стратегией НСУР-2035.

Список литературы

1. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г. // Одобрено Президиумом Совета Министров Республики Беларусь от 4 февраля 2020 г., протокол № 3. Минск, 2024.
2. Гусаков, В. Проблемы и предложения по устойчивому развитию национальной экономики в период международной турбулентности / В. Гусаков // Наука и инновации. 2023. № 1. С. 4–10.
3. Короткевич, А. И. Стратегия инвестиционно-инновационной деятельности в контексте трансформации национальной экономической системы по видам экономической деятельности / А. И. Короткевич // Экономическая наука сегодня. 2022. № 15. С. 15–26.
4. Яковлева, Е. В. Управление интеллектуальными ресурсами работников в условиях инновационного развития цифровой экономики / Е. В. Яковлева // Креативная экономика. 2018. № 8. С. 1073–1088.
5. Головчанская, Е. Э. Интеллектуальные ресурсы в системе стратегического управления инновационным развитием национальной экономики Республики Беларусь / Е. Э. Головчанская // Вопросы инновационной экономики. 2023. Т. 13, № 1. С. 597–608.
6. Головчанская, Е. Э. Интеллектуальный ресурс: психологический феномен экономического конструкта / Е. Э. Головчанская // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-2. С. 347–351.
7. Наука и инновационная деятельность в Республике Беларусь: статистический сборник [Электронный ресурс] // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Режим доступа: https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/ef0/s3cs3b76q_di257v7tkrr40bj087b7on2.pdf. Дата доступа: 11.11.2024.
8. Наука, инновации и технологии [Электронный ресурс] // Федеральная служба государственной статистики. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/154849?print=1>. Дата доступа: 11.11.2024.
9. Об утверждении Основных направлений социально-экономического развития Республики Беларусь на 1996–2000 годы: Указ Президента Республики Беларусь от 14 нояб. 1996 г. № 464.
10. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2001–2005 годы: Указ Президента Республики Беларусь от 8 авг. 2001 г. № 427 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P30100427>. Дата доступа: 11.11.2024.
11. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2006–2010 годы: Указ Президента Республики Беларусь от 12 июня 2006 г. № 384.
12. Интеллектуальная собственность [Электронный ресурс] // Пресс-служба Президента Республики Беларусь. Режим доступа: <https://president.gov.by/ru/belarus/science/intellectual-property>. Дата доступа: 11.11.2024.
13. Байнев, В. Ф. Четвертая промышленная революция как глобальный инновационный проект / В. Ф. Байнев // Наука и инновации. 2017. № 169. С. 38–41.
14. Годовой отчет Национального центра интеллектуальной собственности за 2023 год [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ncip.by/izdaniya-i-publikatsii/godovoy-otchet/infografika/>. Дата доступа: 11.11.2024.
15. О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2016–2020 годы: Указ Президента Республики Беларусь от 31 янв. 2017 г. № 31 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31700031>. Дата доступа: 11.11.2024.

16. Стратегия «Наука и технологии – 2040»: постановление Президиума Национальной академии наук Беларуси от 26 февр. 2018 г. № 17 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf. Дата доступа: 11.11.2024.
17. Основы научной и инновационной деятельности промышленных организаций / О. В. Авдейчик [и др.]. Гродно: Гроднен. гос. аграр. ун-т, 2021.
18. Головчанская, Е. Э. Управление развитием национальной инновационно ориентированной экономической системы на основе оценки индекса интеллектуальной активности национальной экономики / Е. Э. Головчанская, И. А. Карачун, Е. С. Петренко // Вопросы инновационной экономики. 2021. № 1. С. 13–32.
19. Интеллектуальное обеспечение инновационной деятельности промышленных предприятий: технико-экономический и методологический аспекты / О. В. Авдейчик [и др.]. Минск: Право и экономика, 2007.
20. Авдейчик, О. В. Основы научной и инновационной деятельности / О. В. Авдейчик, Л. Н. Нехорошева, В. А. Струк. Минск: Право и экономика, 2016.
21. Кравченко, В. И. Карданные передачи: конструкции, материалы, применение / В. И. Кравченко, Г. А. Костюкович, В. А. Струк. Минск: Тэхналогія, 2006.
22. Национальная инновационная система [Электронный ресурс] // Официальный портал Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь. Режим доступа: https://gknt.gov.by/deyatelnost/innovatsionnaya-politika/natsionalnaya_innovatsionnaya_sistema/. Дата доступа: 11.11.2024.

Поступила 26.08.2026

Принята в печать 11.09.2026

Доступна на сайте 12.10.2026

References

1. National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus until 2035. *Approved by the Presidium of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, Feb. 4, 2020, Protocol No 3*. Minsk (in Russian).
2. Husakov V. (2023) Problems and Proposals for Sustainable Development of the National Economy in the Context of International Turbulence. *Science and Innovations*. (1), 4–10 (in Russian).
3. Korotkevich A. I. (2022) Strategy of Investment and Innovation Activities in the Context of the Transformation of the National Economic System by Types of Economic Activity. *Economic Science Today*. (15), 15–26 (in Russian).
4. Yakovleva E. V. (2018) Management of Intellectual Resources of Employees in the Context of Innovative Development of the Digital Economy. *Creative Economy*. (8), 1073–1088 (in Russian).
5. Golovchanskaya E. E. (2023) Intellectual Resources in the System of Strategic Management of Innovative Development of the National Economy of the Republic of Belarus. *Issues of Innovative Economy*. 13 (1), 597–608 (in Russian).
6. Golovchanskaya E. E. (2015) Intellectual Resource: Psychological Phenomenon of Economic Construct. *Fundamental Research*. (2-2), 347–351 (in Russian).
7. Science and Innovation Activity in the Republic of Belarus: Statistical Collection. *National Statistical Committee of the Republic of Belarus*. Available: https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/ef0/s3cs3b76q_di257v7tkrr40bj087b7on2.pdf (Accessed 11 November 2024) (in Russian).
8. Science, Innovations, and Technologies. *Federal State Statistics Service*. Available: <https://rosstat.gov.ru/folder/154849?print=1> (Accessed 11 November 2024) (in Russian).
9. On Approval of the Main Directions of Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for 1996–2000. *Decree of the President of the Republic of Belarus dated Nov. 14, 1996, No 464* (in Russian).
10. On Approval of the Program for Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for 2001–2005. *Decree of the President of the Republic of Belarus dated Aug. 8, 2001, No 427*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P30100427> (Accessed 11 November 2024) (in Russian).
11. On Approval of the Program for Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for 2006–2010. *Decree of the President of the Republic of Belarus dated June 12, 2006, No 384* (in Russian).
12. Intellectual Property. *Press Service of the President of the Republic of Belarus*. Available: <https://president.gov.by/ru/belarus/science/intellectual-property> (Accessed 11 November 2024) (in Russian).
13. Baynev V. F. (2017) The Fourth Industrial Revolution as a Global Innovative Project. *Science and Innovations*. (169), 38–41 (in Russian).
14. *Annual Report of the National Center for Intellectual Property for 2023*. Available: <https://ncip.by/izdaniya-i-publikatsii/godovoy-otchet/infografika/> (Accessed 11 November 2024) (in Russian).
15. On the State Program for Innovative Development of the Republic of Belarus 2016–2020. *Decree of the President of the Republic of Belarus dated January 31, 2017, No 31*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31700031> (Accessed 11 November 2024) (in Russian).

16. Strategy "Science and Technology – 2040". *Resolution of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus dated Feb. 26, 2018, No 17*. Available: https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf (Accessed 11 November 2024) (in Russian).
17. Avdeychik O. V., Hatskevich G. A., Struk V. A., Nekhorosheva L. N. (2021) *Fundamentals of Scientific and Innovative Activity of Industrial Organizations*. Grodno, Grodno State Agrarian University (in Russian).
18. Golovchanskaya E. E., Karachun I. A. Petrenko E. S. (2021) Management of the Development of the National Innovation-Oriented Economic System Based on the Assessment of the Index of Intellectual Activity of the National Economy. *Issues of Innovative Economy*. (1), 13–32 (in Russian).
19. Avdeychik O. V., Liopo V. A., Kravchenko V. I., Ishchenko M. V., Shcherba T. P. (2007) *Intellectual Support for Innovative Activity of Industrial Enterprises: Technical, Economic, and Methodological Aspects*. Minsk, Law and Economics Publ. (in Russian).
20. Avdeychik O. V., Nekhorosheva L. N. Struk V. A. (2016) *Fundamentals of Scientific and Innovative Activity*. Minsk, Law and Economics Publ. (in Russian).
21. Kravchenko V. I., Kostiukovich G. A., Struk V. A. (2006) *Cardan Drives: Designs, Materials, Applications*. Minsk, Tekhnologiya Publ. (in Russian).
22. National Innovation System. *Official Portal of the State Committee on Science and Technology of the Republic of Belarus*. Available: https://gknt.gov.by/deyatelnost/innovatsionnaya-politika/natsionalnaya_innovatsionnaya_sistema/ (Accessed 11 November 2024) (in Russian).

Received: 26 August 2026

Accepted: 11 September 2026

Available on the website: 12 October 2026

Сведения об авторе

Авдейчик О. В., канд. экон. наук, доц., доц. каф. финансов и экономического анализа, Гродненский государственный аграрный университет

Адрес для корреспонденции

230008, Республика Беларусь,
Гродно, ул. Терешковой, 18
Гродненский государственный
аграрный университет
Тел.: +375 29 660-78-24
E-mail: ol_avd.78@mail.ru
Авдейчик Ольга Васильевна

Information about the author

Avdeychik O., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Finance and Economic Analysis, Grodno State Agrarian University

Address for correspondence

230008, Republic of Belarus,
Grodno, Tereshkova St., 18
Grodno State
Agrarian University
Tel.: +375 29 660-78-24
E-mail: ol_avd.78@mail.ru
Avdeychik Olga



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-32-42>

УДК 336.71.078.3

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: КРИПТОБАНКИ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, ЦИФРОВОЙ БЕЛОРУССКИЙ РУБЛЬ

Я. И. ГРИГОРЬЕВА

Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. В статье приведены результаты комплексной оценки банковской системы Республики Беларусь в условиях цифровой трансформации. Рассмотрены три главных приоритета, которые играют ключевую роль в вопросе цифровой трансформации банковской системы страны: криптобанки, искусственный интеллект, цифровой белорусский рубль. Исследование позволит оценить степень готовности нормативно-правовой базы Беларуси и уровень готовности ее банковской системы к внедряемым технологическим инновациям.

Ключевые слова: криптобанк, искусственный интеллект, цифровая валюта центрального банка, цифровой белорусский рубль, цифровые финансовые активы, токен.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Григорьева, Я. И. Основные аспекты процесса цифровой трансформации в банковской системе Республики Беларусь: криптобанки, искусственный интеллект, цифровой белорусский рубль / Я. И. Григорьева // Цифровая трансформация. 2026. Т. 32, № 3. С. 32–42. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-32-42>.

MAIN ASPECTS OF THE DIGITAL TRANSFORMATION PROCESS IN THE BANKING SYSTEM OF THE REPUBLIC OF BELARUS: CRYPTO-BANKS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, AND THE DIGITAL BELARUSIAN RUBLE

YANA GRIGOREVA

Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The article presents the results of a comprehensive assessment of the banking system of the Republic of Belarus in the context of digital transformation. It examines three key priorities playing a pivotal role in the digital transformation of the country's banking system: crypto-banking, artificial intelligence, and the digital Belarusian ruble. The study makes it possible to evaluate the readiness of Belarus's regulatory framework and the preparedness of its banking system for the technological innovations being implemented.

Keywords: crypto-bank, artificial intelligence, central bank digital currency, digital Belarusian ruble, digital financial assets, token.

Conflict of interests. The author declares that there is no conflict of interests.

For citation. Grigoreva Y. (2026) Main Aspects of the Digital Transformation Process in the Banking System of the Republic of Belarus: Crypto-Banks, Artificial Intelligence, and the Digital Belarusian Ruble. *Digital Transformation*. 32 (3), 32–42. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-32-42> (in Russian).

Введение

В настоящее время разные страны уделяют пристальное внимание вопросам стабильного функционирования экономики и денежно-кредитной политики, а также развитию и регулированию финансового рынка в условиях активного внедрения цифровых технологий. Развитие цифровой среды – глобальная межотраслевая задача, выходящая далеко за рамки области информационных технологий. Цифровая трансформация стимулирует организации внедрять современные программные комплексы и применять цифровые технологии (и продукты) на больших массивах данных, вносить изменения в текущие бизнес-процессы и повышать квалификацию персонала в области внедряемых в операционную деятельность инновационных цифровых инструментов. Преобразования, обусловленные активным внедрением цифровых технологий, воздействуют на технологическое развитие разных отраслей экономики Республики Беларусь, и финансовый сектор не является исключением.

Финансовый рынок меняется под влиянием технологий, а его участники адаптируются, внедряя на практике инновационный инструментарий. Белорусские ученые и исследователи уделяют внимание данной области. Например, Д. Панков, Л. Стефанович и С. Зубок определили категорию криптобанка как новую форму финансового посредничества, формирующуюся в условиях развития цифровых активов и технологий распределенных реестров [1]. Необходимость быстреего выхода белорусских банков на бурно развивающиеся крипторынки с целью накопления опыта и ускорения международных платежей в условиях санкций отмечали в своей работе М. Ковалев и Г. Головенчик, рассматривая проблемные вопросы участия банков в крипторынках [2].

Автор данной статьи в рамках научной дискуссии расширяет спектр рассматриваемых изменений, связанных с цифровой трансформацией, и в комплексе оценивает их роль и перспективы развития на белорусском банковском рынке. В статье рассмотрены процессы цифровизации экономики и общества на основе оценки степени развития основных направлений и технологий цифровой трансформации в банковской системе Республики Беларусь. Предметом исследования определены наиболее приоритетные направления цифрового развития в банковском секторе: криптобанки, искусственный интеллект (ИИ) и цифровой белорусский рубль (ЦБР). Учитывая, что активы банков республики занимают наибольшую долю активов финансового сектора страны, результаты исследования отражают основные аспекты процесса цифровой трансформации банков как основных участников финансовой системы Беларуси.

Криптобанки

Финансовая система Республики Беларусь преимущественно банковско-ориентированная. По состоянию на 01.01.2026 на долю банков в структуре активов финансового сектора приходилось 76,08 %. Эта весомая доля сохраняется на протяжении последних лет (табл. 1).

По итогам 2007 г. институциональная структура финансового сектора Республики Беларусь также характеризовалась доминированием банков, но в иных пропорциях. На 01.01.2008 в стране финансовый сектор был представлен Национальным банком Республики Беларусь, банками с долей 95 % в структуре активов финансовой системы и небанковскими финансовыми посредниками, к числу которых относились страховые организации [3]. Таким образом, круг участников в структуре активов финансового сектора страны за более чем 20-летний период расширился.

С закреплением основ правового регулирования операций с токенами, а также требований, предъявляемых к деятельности операторов криптоплатформ, операторов обмена криптовалют, организаторов ICO и майнеров, урегулированных с подписанием Декрета Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 «О развитии цифровой экономики», на государственном уровне простимулировано развитие деятельности резидентов Парка высоких технологий (ПВТ), осуществляющих оборот токенов, в том числе криптовалют [4]. Функционирование банковского сектора и банков Республики Беларусь в период цифровой трансформации – это результат взаимодействия технологического развития и реформ институциональной структуры финансового сектора Беларуси. Именно 2026 г., по мнению автора, должен стать историческим периодом трансформации финансовой системы страны, предусматривающим расширение традиционной структуры участников рынка новым институциональным игроком – криптобанком.

Таблица 1. Структура активов финансового сектора Республики Беларусь
Table 1. Asset structure of the financial sector of the Republic of Belarus

Показатель	Значение показателя по состоянию на 01.01 по годам					
	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Совокупные активы финансового сектора РБ, млрд руб., в том числе изменение совокупных активов за отчетный год:	123,6	134,2	146,5	175,6	196,3	214,5
млрд руб.	+19,4	+10,6	+12,3	+29,1	+20,7	+18,2
%	+18,6	+8,6	+9,2	+19,8	+11,8	+9,3
Доля банков в структуре активов финансового сектора РБ, %:						
банков	75,40	75,50	73,90	75,08	75,15	76,08
НКФО	0,30	0,25	0,30	0,26	0,25	0,26
других организаций, %, в том числе:	24,3	24,25	25,8	24,66	24,60	23,66
Банк развития	9,80	10,36	11,70	11,05	10,18	9,53
лизинговые организации	6,40	6,11	5,69	5,76	6,40	6,67
страховые организации	3,90	3,84	4,23	3,95	3,94	3,82
агентство по управлению активами	2,10	1,87	2,06	1,78	2,02	1,86
агентство по гарантированию вкладов	2,10	1,99	2,02	1,96	1,92	1,73
Белорусская валютно-фондовая биржа	0,03	0,04	0,06	0,06	0,10	0,05
микрофинансовые организации	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	–

В январе 2026 г. Президент Республики Беларусь подписал Указ № 19 «О криптобанках и отдельных вопросах контроля в сфере цифровых знаков (токенов)» (Указ № 19) [5], направленный на формирование цифровой экономики и стимулирование инноваций. В правовое поле страны нормами Указа № 19 вводится понятие «криптобанк» как принципиально нового субъекта финансового рынка. Этот нормативный акт предусматривает создание гибридных финансовых институтов, которые будут интегрировать традиционные банковские и платежные операции с деятельностью по работе с цифровыми токенами, т. е. криптобанки наделяются правом совмещать классические банковские и платежные услуги с операциями, связанными с оборотом цифровых активов.

Криптобанк – юридическое лицо, которое является резидентом ПВТ, осуществляющим иную деятельность с использованием цифровых знаков (токенов), и включено в реестр криптобанков Национального банка, т. е. предусмотрено подчинение двум контролирующим органам. Нормы и порядок осуществления криптобанками деятельности с использованием цифровых знаков (токенов) закреплено отдельным решением Наблюдательного совета ПВТ от 15.04.2026 (Положение № 2) [6].

С 23 мая 2026 г. вступило в силу совместное постановление Совета Министров Республики Беларусь и Национального банка Республики Беларусь № 257/12, расширяющее перечень базовых активов по операциям с беспоставочными внебиржевыми финансовыми инструментами. Данный документ предусматривает включение в перечень активов также и цифровых знаков (токенов), в том числе криптовалюты [7]. В рамках развития положений Указа № 19 Правление Национального банка Республики Беларусь 30 июня текущего года приняло ряд постановлений, нормы которых одновременно с Указом № 19 вступили в силу с 18.07.2026 (табл. 2) [8].

Таблица 2. Документы, принятые в рамках реализации положений Указа № 19
Table 2. Documents adopted in the course of implementing the provisions of Decree No 19

Наименование документа	Область регулирования
Постановление Правления № 157 «Об утверждении регламентов административных процедур»	Документ определяет порядок осуществления Национальным банком в отношении акционерных обществ, являющихся резидентами ПВТ, административных процедур по включению в реестр с получением свидетельства о включении в реестр, внесению изменений или исключению из него

Окончание табл. 2
Ending of Tab. 2

Наименование документа	Область регулирования
Постановление Правления № 158 «О порядке ведения реестра криптобанков Национального банка»	Документ устанавливают форму и содержание реестра криптобанков Национального банка, порядок включения юридического лица в реестр, внесения изменений в реестр, исключения криптобанка из реестра
Постановление Правления № 162 «О бухгалтерском учете цифровых знаков (токенов) в криптобанках»	Документ утверждает Инструкцию о бухгалтерском учете цифровых знаков (токенов) в криптобанках, определяющую порядок отражения в бухгалтерском учете криптобанков цифровых знаков (токенов) и сделок (операций) с ними, предусмотренных Положением № 2. Устанавливает подходы к представлению информации об операциях с токенами при формировании криптобанками формы отчетности «Бухгалтерский баланс» и бухгалтерской (финансовой) отчетности
Постановление Правления № 163 «О порядке определения криптобанком курса цифровых знаков (токенов) в белорусских рублях»	Документом установлен порядок определения криптобанком курса цифровых знаков (токенов) в белорусских рублях

Принятые в первом полугодии 2026 г. нормативные акты, регулирующие деятельность криптобанков и оборот цифровых токенов, свидетельствуют о приоритетности адаптации белорусского законодательства к стремительному развитию технологий. Данные меры направлены на создание благоприятных условий для резидентов ПВТ и диверсификацию направлений их деятельности (задача в рамках реализации приоритета 4 «Рост конкурентоспособности, ускорение технологического развития и цифровая трансформация» Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 гг.) [9, с. 20]. Законодательные новшества первой половины 2026-го, коснувшиеся сферы криптобанкинга и цифровых активов, наглядно показывают: Беларусь держит руку на пульсе технологического прогресса. Обновление правовой базы – стратегический шаг, призванный расширить горизонты для резидентов ПВТ и укрепить позиции страны на рынке цифровых инноваций.

Отдельно следует отметить, что рынок цифровых финансовых активов (ЦФА) Беларуси поступательно развивается с совокупным объемом выпущенных в оборот токенов по итогам 2025 г. в размере 145 млн долл. США, что, по сравнению с объемом рынка облигаций страны, достигает порядка 10,4 % в структуре долгового финансирования [10]. С учетом расширения количества участников финансового рынка республики (до конца 2026 г. он пополнится новыми участниками – криптобанками), которым дано право осуществлять операции с цифровыми знаками (токенами), рынок ЦФА в ближайшие годы будет увеличивать свою долю в структуре долгового финансирования. Структура участников банковской системы страны также изменится (табл. 3).

Таблица 3. Структура банковской системы Республики Беларусь
Table 3. Structure of the banking system of the Republic of Belarus

Уровень	Банковская система
1	Национальный банк Республики Беларусь (регулятор банковской системы и криптобанков) ↓
2	➤ 21 банк, в том числе: 4 государственных банка 14 иностранных банков 3 частных банка ➤ ОАО «Банк развития Республики Беларусь» ➤ 2 небанковские кредитно-финансовые организации, в том числе: - ОАО «НКФО «Белинкаструп» - ОАО «НКФО «ЕРИП»
	Криптобанки
	ПВТ (регулятор криптобанков) ↑

В соответствии со Среднесрочной программой деятельности Национального банка и регулируемых сегментов финансового рынка на 2026–2030 гг. (Программа 2026–2030) предусмотрено достижение числовых целевых индикаторов, представленных в табл. 4.

Таблица 4. Числовые целевые индикаторы деятельности Национального банка на 2026–2030 гг.

Table 4. Quantitative performance targets for the National Bank for 2026–2030

Наименование индикатора	Значение индикатора
Доля банков, совершающих сделки (операции) с цифровыми знаками (токенами), %	30 – к концу 2030 г.
Соотношение активов криптобанков и совокупных активов банковского сектора, %	1–3 – на конец 2030 г.
Темп прироста объема транзакций с цифровыми знаками (токенами), проведенных через криптобанки за год, %	10 – к предыдущему году
Темп прироста объема осуществленных через криптобанк операций по исполнению обязательств по внешнеторговым договорам с использованием цифровых знаков (токенов) за год, %	Не менее 10 – к предыдущему году
Количество видов активных, пассивных, расчетных и иных сделок (операций), связанных с использованием цифровых знаков (токенов), осуществляемых криптобанками	Более 10 – к концу 2030 г.

Таким образом, банковский регулятор намерен запустить платформу, объединяющую классические банковские услуги с оборотом цифровых токенов. Цель проекта – сформировать устойчивую модель, которая даст импульс развитию финансовой системы, не создавая при этом рисков для ценовой и финансовой стабильности [11, с. 36, 37].

Искусственный интеллект

В целях развития высокотехнологичной и самодостаточной экономики Программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 гг. (приоритет 4) в рамках решения задач по повышению технологичности экономики и цифровой трансформации предусмотрено достижение следующих индикаторов:

- «интеграция цифровых технологий шестого технологического уклада (искусственный интеллект, большие данные, интернет вещей, цифровые двойники, скорости передачи данных через сеть интернет выше 100 Мбит/с) в организациях – не менее 70 % обследованных организаций в 2030 г.»;
- «обеспечение критически важных сфер экономики импортонезависимым и отечественным программным обеспечением – не менее 90 % в 2030 г.» [9, с.19, 20].

В развитие поставленных перед отраслями экономики задач банковская система Республики Беларусь также проводит активную работу по реализации инициатив по цифровой трансформации финансовой отрасли. Тенденции в области финансовых технологий, и в частности внедрение технологий ИИ в банковскую практику, позволяют банкам повышать свои конкурентные преимущества на рынке и улучшать качество оказываемых клиентам услуг. Технология ИИ существенно преобразует банковскую сферу: финансовые учреждения, которые наращивают объем инвестиций в платформы ИИ, будут обладать лидерскими позициями уже в ближайшей перспективе. В соответствии с Программой 2026–2030 предусмотрено осуществлять регулярный мониторинг ИИ-решений, применяющихся в банковском секторе, и обеспечить состояние регуляторной среды, содействующей использованию банками ИИ [11, с. 27].

Председатель правления Национального банка Р. А. Головченко по итогам выездных совещаний, проведенных в июле 2026 г. на базе центральных офисов крупных белорусских банков (ОАО «АСБ Беларусбанк», ЗАО «Альфа-Банк», ОАО «Сбер Банк»), по вопросам внедрения ИИ в банковскую деятельность подчеркнул, что «ряд банков ставят этот вопрос в фокус своего внимания, много финансов и ресурсов направляют на вопросы цифровой трансформации, внедрения искусственного интеллекта. Это не искусственный процесс, не изолированный IT-проект, это – та инициатива, которая напрямую влияет на эффективность деятельности. Отрадно то, что большинство наших банков идут собственным путем, вкладываются в разработки, имеют свои коман-

ды разработчиков. То есть мы ориентированы не на чужие коробочные решения, а на разработку собственных устойчивых моделей искусственного интеллекта, их внедрение, обучение, развитие. Во главу угла ставим практический эффект и его оценку в контексте качества оказываемых банком услуг» [12].

Также в рамках выполнения Программы 2026–2030 в настоящее время Национальным банком разрабатывается методика оценки Индекса зрелости применения ИИ банковского сектора, а также на систематической основе проводится сбор информации для его расчета [13]. Стимулирующий характер банковского регулирования предусматривает, что банки к концу действия данной программы будут технологически готовы к использованию ИИ-решений, среди банков будет присутствовать высокая распространенность ИИ-решений и достигнут средний уровень интенсивности их использования. Ожидается достижение заметного экономического эффекта от применения ИИ-решений. Числовые целевые индикаторы деятельности Национального банка на 2026–2030 гг. при использовании ИИ-решений приведены в табл. 5 [11, с. 37].

Таблица 5. Числовые целевые индикаторы деятельности Национального банка на 2026–2030 гг. при использовании ИИ-решений

Table 5. Quantitative performance targets for the National Bank for 2026–2030 involving the use of AI solutions

Наименование индикатора	Значение индикатора
Количество внедренных ИИ-решений в Национальном банке	Не менее 11 решений – к концу 2030 г. (одно решение внедрено в 2025 г.)
Индекс зрелости применения ИИ банковского сектора, баллы	Не менее 3 – к концу 2030 г. (по шкале от 0 до 5, что соответствует уровню «средний»)

Таким образом, принятые в рамках Программы 2026–2030 меры и параметры целевых индикаторов создают стимулы к дальнейшему углублению процесса цифровой трансформации финансового сектора республики. Банковский сектор Беларуси, безусловно, находится на этапе активной цифровой трансформации текущих процессов. Статистические данные промежуточных итогов выполнения установленных целевых индикаторов еще предстоит проанализировать. Однако международный опыт внедрения ИИ показывает, что объем глобального рынка ИИ в банковской сфере и финансах в 2025 г. оценивался в 1676,02 млн долл. США и, согласно прогнозам, увеличится с 2229,10 в 2026 г. примерно до 26343,82 млн долл. США к 2035 г. (на 31,72 %) (рис. 1) [14].

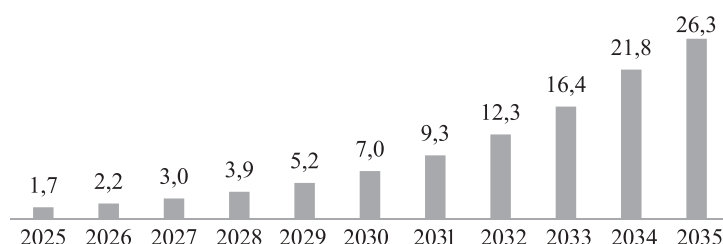


Рис. 1. Объем глобального рынка искусственного интеллекта в банковской сфере и финансах, млрд долл. США

Fig. 1. Global Artificial Intelligence Market Size in Banking and Finance, USD Billion

Вне всякого сомнения, на развитие рынка ИИ-сервисов влияют различные факторы, включая увеличение инвестиций в ИИ и числа выпускаемых продуктов, расширение сотрудничества между участниками рынка, технологические достижения и преимущества, которые дают эти технологии. Пять крупнейших «гипермасштабных» компаний, технологических гигантов, ускоренно создающих инфраструктуру ИИ, идут к тому, чтобы направить на связанные с ИИ инвестиции более 1 трлн долл. США (878 млрд евро) [15]. Темпы вложений уже опережают их прибыль и свободный денежный поток, вынуждая некоторых из них активно наращивать долговые обязательства для привлечения дополнительного финансирования, чтобы не отстать. Эта инвестиционная гонка может быть отчасти вызвана представлением о том, что лишь небольшое число игроков, обладающих передовыми технологиями, в конечном итоге будут доминировать на рынке. Острая конкуренция повышает риск того, что компании будут чрезмерно вкладывать ресурсы в инвести-

ционные проекты с неопределенной доходностью, что делает их уязвимыми к разочарованиям в будущем [16, с. 22].

Таким образом, помимо преимуществ и позитивных ожиданий от внедрения ИИ, отдельными экспертами в этой области отмечается, что тренд на ускоренное инвестирование и внедрение в рабочие процессы ИИ создает повышенные риски перегрева, финансовой нестабильности и формирование предпосылок для так называемого пузыря ИИ и затяжного инвестиционного кризиса. Банк международных расчетов (Bank for International Settlements) в своем ежегодном экономическом обзоре предупреждает, что стремительный рост инвестиций в ИИ, который привел к рекордным максимумам на мировых фондовых рынках, рискует обернуться финансовым кризисом, поскольку скрытые издержки этого роста начинают проявляться как в отчетности компаний, так и в потребительских ценах, конкурентное давление приводит к увеличению капитальных вложений, а чистый экономический профицит (общая отдача за вычетом инвестиционных затрат) снижается в целом для сектора и может стать отрицательным при неблагоприятных сценариях [16, с. 22].

Следует отметить, что инвестиционная активность белорусских банков по внедрению цифровых инструментов на основе ИИ позволит в перспективе капитализировать их стоимость и технологическую независимость. Вместе с тем на старте внедрения заслуживают серьезного анализа понимание конечных результатов, их оцифрованные прогнозы, чтобы минимизировать риск излишних инвестиционных вливаний в пока недостаточно изученное с точки зрения «выгод-издержек» направление цифровой трансформации – ИИ. Интенсификация инвестиционных процессов в сфере ИИ-технологий выступает необходимым условием капитализации белорусских банков и станет драйвером роста их рыночной стоимости. Цифровизация на базе ИИ – ключ к повышению автономии каждого банка и технологического суверенитета банковского сектора Республики Беларусь в целом.

Вместе с тем нужно подчеркнуть необходимость проведения глубокого анализа ожидаемых результатов на этапе принятия решения, старта того или иного цифрового ИИ-проекта. Это, в свою очередь, потребует разработки адекватных методик оценки эффективности и верификации полученных результатов. То есть банкам целесообразно сфокусироваться на оцифрованных прогнозах внедрения, чтобы избежать избыточных вложений в недостаточно изученные инструменты. Такой подход минимизирует риски нерационального распределения ресурсов в рамках цифровой трансформации.

Банками нашей страны ИИ уже рассматривается как естественная часть многих бизнес-процессов. ИИ-решения, внедряемые белорусскими банками, охватывают продукты и сервисы для клиентов и внедряются во многие процессы, продукты, сервисы: например, интеллектуальные чат-боты консультируют клиентов по широкому спектру вопросов. Кроме того, широкий перечень внутренних задач банков решается благодаря внедрению в операционные процессы ИИ-инструментария, например, оценка поведенческих моделей клиентов, оптимизация инкассации отделений, модели оценки вероятности одобрения кредита, автоматическая обработка заявок на обмен валюты, консультация сотрудников юридическим ассистентом, генерация текстов с заданными настройками, ассистент по кадровым вопросам и ряд иных. Таким образом, благодаря процессу цифровой ИИ-трансформации банки автоматизируют совершение рутинных банковских операций.

В настоящее время в Республике Беларусь отсутствует комплексный законодательный акт, регламентирующий сферу ИИ. Вопрос правового регулирования ИИ в Беларуси пока находится на стадии формирования. Прямого законодательства в этой сфере еще не принято, а действующее правовое поле включает нормы, содержащиеся в отдельных документах, которые носят точечный характер, т. е. регулирование осуществляется фрагментарно. Однако с 2023 г. усилия экспертов сосредоточены над созданием модельного закона «О технологиях искусственного интеллекта», который должен систематизировать основные правила и понятия в этой области, закрепить базовые принципы функционирования данной отрасли. Таким образом, формирование нормативной базы для ИИ остается приоритетным направлением для белорусского научного сообщества, которая станет фундаментом для дальнейшего продвижения и регулирования ИИ-технологий и цифровой отрасли [17].

Цифровой белорусский рубль

С развитием цифрового банкинга расширяются возможности общества использовать, помимо традиционных форм расчетов, электронные и цифровые деньги. Поскольку отрасль цифрового банкинга значимо влияет на каждого человека в отдельности и общество в целом, важно понимать, как цифровая трансформация в банковской сфере меняет устоявшиеся традиции операций с денежными средствами. Поэтому внедрение ЦБР – одно из приоритетных направлений дальнейшего развития информационных и цифровых технологий в банковском секторе Республики Беларусь.

В соответствии с Программы 2026–2030 расширение инструментов финансового рынка, в том числе посредством использования токенизированных активов и ЦБР, будет способствовать повышению надежности национальной платежной системы и приведет к формированию конкурентных преимуществ страны в глобальной цифровой финансовой архитектуре [11, с. 11]. Цифровая валюта центрального банка представляет собой фиатную валюту, эмитированную в цифровой форме центральным банком (регулятором) страны. Особенностью цифровой валюты центрального банка, в отличие от криптовалют или цифровых валют, является то, что эмиссия и контроль осуществляются централизованно государственным органом, регулирующим функционирование денежно-кредитной системы.

В настоящее время ко второму чтению готовится законопроект «Об изменении законов по вопросам цифрового белорусского рубля», внесенный Советом Министров Республики Беларусь. В проекте закона определена природа ЦБР как новая (дополнительная) форма безналичных денег, которая в отличие от существующей формы учитывается не на банковских счетах, а на цифровых счетах в Национальном банке [18]. Данный инструмент будет способствовать повышению эффективности контроля государства за целевым расходованием бюджетных средств. Кроме того, новый цифровой эквивалент национальной валюты выступит в качестве законного платежного средства при взаиморасчетах между странами-партнерами (трансграничные платежи). Предлагаемые меры, как новые возможности, будут стимулировать развитие трансграничного банковского бизнеса и дальнейшую интеграцию рынков капитала стран-союзников в рамках Шанхайской организации сотрудничества и Евразийского экономического союза. Такой цифровой инструмент является новым для финансовой системы Республики Беларусь, однако регуляторы трех стран уже внедрили цифровые валюты центральных банков: Национальный банк Казахстана, Банк Ямайки и Центральный банк Багам. В статусе пилотного проекта сейчас функционируют цифровые валюты центральных банков Индии, России, Китая, ОАЭ, Европейского союза, Швейцарии, Сингапура и др. [19].

Внедрение цифровых валют центральных банков в контексте глобальной цифровизации неизбежно приведет к трансформации механизмов денежно-кредитной политики. Помимо детерминации парадигм денежно-кредитного регулирования, интеграция цифровых валют центральных банков в условиях всеобщей цифровой трансформации приведет к модификации транзакционного поведения экономических агентов и их привычных платежных практик. Следует отметить растущую актуальность цифровых валют центральных банков как стратегического ресурса для обеспечения финансовой независимости национальных экономик различного типа. В частности, этот инструмент становится универсальным решением для стран, стремящихся к созданию инклюзивной финансовой системы, предоставляющей равный, удобный и недорогой доступ к банковским продуктам и услугам.

Заключение

1. Функционирование банков Республики Беларусь в период цифровой трансформации – это результат взаимодействия технологического развития и реформ институциональной структуры финансового сектора страны.

2. Проведенный анализ законодательных и нормативных актов в области цифровой трансформации показал, что в Беларуси сформирована нормативная база для динамичного и взвешенного развития процесса цифровой трансформации финансовой системы и банковского сектора. В целях обеспечения следующего технологического рывка созданы необходимые правовые условия для разработки и функционирования криптобанков, осуществления ими операций с цифровыми

знаками (токенами), что будет способствовать построению новой финансовой архитектуры на рынке республики. Слияние традиционных финансов (Centralized Finance, CeFi) и революционной концепции использования технологии блокчейн (Decentralized Finance, DeFi) позволит сформировать новую финансовую экосистему с уникальными подходами к управлению и контролю финансовых операций.

3. Ожидаемые результаты от внедрения рассмотренных инициатив – это формирование цифровой финансовой экосистемы, ориентированной на внедрение инновационных (цифровых) решений и инструментов в целях улучшения качества жизни и повышения социальной ответственности участников финансовой системы перед обществом и государством.

Список литературы

1. Экономика криптобанка: формирование и особенности модели [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nbrb.by/bv/pdf/journals/751.pdf>. Дата доступа: 10.06.2026.
2. Проблемы участия банков в крипторынках [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nbrb.by/bv/pdf/journals/755.pdf>. Дата доступа: 07.07.2026.
3. Финансовая стабильность в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nbrb.by/publications/finstabrep>. Дата доступа: 08.07.2026.
4. О развитии цифровой экономики: Декрет Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=pdf1700008&ysclid=mrcl5p89lk842144629>. Дата доступа: 23.04.2025.
5. О криптобанках и отдельных вопросах контроля в сфере цифровых знаков (токенов): Указ Президента Республики Беларусь от 16 января 2026 г. № 19 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://president.gov.by/fp/v1/291/document-thumb__71291__original/71291.1768577637.41ec2d2c9e.pdf. Дата доступа: 02.02.2026.
6. Положение о порядке осуществления криптобанками деятельности с использованием цифровых знаков (токенов): решение Наблюдательного совета Парка высоких технологий от 15 апреля 2026 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://park.by/upload/Криптобанк_на%20сайт.pdf. Дата доступа: 14.05.2026.
7. Об определении базовых активов по операциям с беспоставочными внебиржевыми финансовыми инструментами: постановление Совета Министров Республики Беларусь и Национального банка Республики Беларусь от 23 мая 2026 г. № 257/12 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22600257>. Дата доступа: 04.06.2026.
8. Национальным банком приняты очередные меры по реализации Указа Президента от 16 января 2026 г. № 19 «О криптобанках и отдельных вопросах контроля в сфере цифровых знаков (токенов)» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nbrb.by/Press/22331>. Дата доступа: 08.07.2026.
9. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 годы: решение Всебелорусского народного собрания от 19.12.2025 № 1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P925v0001>. Дата доступа: 03.01.2026.
10. Рынок токенов в Беларуси: корректировка после бурного роста [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://neg.by/novosti/otkrytj/rynok-tokenov-v-belarusi-korrektirovka-posle-burnogo-rosta/?ysclid=mrcl9rit7v854088542>. Дата доступа: 10.07.2026.
11. Среднесрочная программа деятельности Национального банка и финансового сектора на 2026–2030 годы: постановление Правления Национального банка Республики Беларусь от 11 февраля 2026 г. № 38 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.nbrb.by/legislation/documents/pp_38-2026.pdf. Дата доступа: 11.04.2026.
12. Белорусские банки ориентированы на разработку собственных устойчивых моделей ИИ – Головченко [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://belta.by/economics/view/beloruskie-banki-orientirovany-na-razrabotku-sobstvennyh-ustojchivyh-modelej-ii-golovchenko-790477-2026/?ysclid=mrfa5ma6kq381428357>. Дата доступа: 09.07.2026.
13. Об информации по внедрению искусственного интеллекта: письмо Национального банка Республики Беларусь от 15 апреля 2026 г. № 89-13/16.
14. Generative AI in Banking and Finance Market Size, Share and Trends 2026 to 2035 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.precedenceresearch.com/generative-ai-in-banking-and-finance-market>. Date of access: 10.07.2026.
15. Central Banks Warn that the AI Boom That Supports Markets Could Lead to a New Crisis [Electronic resource]. Mode of access: <https://ru.euronews.com/business/2026/06/29/the-ai-boom-supporting-markets-could-trigger-the-next-crash-central-banks-warn>. Date of access: 30.06.2026.

16. Annual Economic Report. June 2026. Bank for International Settlements [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2026e.pdf>. Date of access: 16.07.2026.
17. Белорусские ученые работают над решениями в сфере регулирования ИИ. Белта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://belta.by/society/view/beloruskie-uchenye-rabotajut-nad-reshenijami-v-sfere-regulirovaniya-ii-791380-2026/>. Дата доступа: 15.07.2026.
18. Об изменении законов по вопросам цифрового белорусского рубля [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://house.gov.by/ru/zakony-ru/view/ob-izmenenii-zakonov-po-voprosam-tsifrovogo-beloruskogo-rublja-1925/>. Дата доступа: 19.07.2026.
19. Today's Central Bank Digital Currencies Status [Electronic resource]. Mode of access: <https://cbdctracker.org/>. Date of access: 21.07.2026.

Поступила 25.08.2026

Принята в печать 10.09.2026

Доступна на сайте 12.10.2026

References

1. *The Economics of a Crypto Bank: Formation and Features of the Model*. Available <https://www.nbrb.by/bv/pdf/journals/751.pdf> (Accessed 10 June 2026) (in Russian).
2. *Problems Associated with Banks' Participation in Crypto Markets*. Available <https://www.nbrb.by/bv/pdf/journals/755.pdf> (Accessed 7 July 2026) (in Russian).
3. *Financial Stability in the Republic of Belarus*. Available: <https://www.nbrb.by/publications/finstabrep> (Accessed 8 July 2026) (in Russian).
4. *On the Development of the Digital Economy: Decree of the President of the Republic of Belarus of December 21, 2017, No 8*. Available: <https://etalonline.by/document/?regnum=pd1700008&ysclid=mrcl5p89lk842144629> (Accessed 23 April 2025) (in Russian).
5. *On Cryptobanks and Certain Issues of Control in the Field of Digital Signs (Tokens): Decree of the President of the Republic of Belarus dated January 16, 2026, No 19*. Available: https://president.gov.by/fp/v1/291/document-thumb__71291__original/71291.1768577637.41ec2d2c9e.pdf (Accessed 2 February 2026) (in Russian).
6. *Regulations on the Procedure for Cryptobanks to Operate Using Digital Tokens: Decision of the High-Tech Park Supervisory Board dated April 15, 2026*. Available: https://park.by/upload/Криптобанк_на%20сайт.pdf (Accessed 14 May 2026) (in Russian).
7. *On the Determination of Underlying Assets for Transactions with Non-Deliverable Over-The-Counter Financial Instruments: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus and the National Bank of the Republic of Belarus dated May 23, 2026 No 257*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22600257> (Accessed 4 June 2026) (in Russian).
8. *The National Bank Has Taken Further Measures to Implement Presidential Decree No 19 of January 16, 2026, "On Cryptobanks and Certain Issues of Control in the Field of Digital Signs (Tokens)"*. Available: <https://www.nbrb.by/Press/22331> (Accessed 8 July 2026) (in Russian).
9. *On Approval of the Program for the Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for 2026–2030: Decision of the All-Belarusian People's Assembly of 19.12.2025 No 1*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P925v0001> (Accessed 3 January 2026) (in Russian).
10. *The Belarusian Token Market: Correction After Rapid Growth*. Available: <https://neg.by/novosti/otkrytj/rynok-tokenov-v-belarusi-korrektirovka-posle-burnogo-rosta/?ysclid=mrcl9rit7v854088542> (Accessed 10 July 2026) (in Russian).
11. *Medium-Term Program of Activities of the National Bank and the Financial Sector for 2026–2030: Resolution of the Board of the National Bank of the Republic of Belarus dated February 11, 2026, No 38*. Available: https://www.nbrb.by/legislation/documents/pp_38-2026.pdf (Accessed 11 April 2026) (in Russian).
12. *Belarusian Banks Are Focused on Developing Their Own Sustainable AI Models – Golovchenko*. Available: <https://belta.by/economics/view/beloruskie-banki-orientirovany-na-razrabotku-sobstvennyh-ustojchivyh-modelej-ii-golovchenko-790477-2026/?ysclid=mrfa5ma6kq381428357> (Accessed 9 July 2026) (in Russian).
13. *On the Implementation of Artificial Intelligence: Letter of the National Bank of the Republic of Belarus dated April 15, 2026, No 89-13/16* (in Russian).
14. *Generative AI in Banking and Finance Market Size, Share and Trends 2026 to 2035*. Available: <https://www.precedenceresearch.com/generative-ai-in-banking-and-finance-market> (Accessed 10 July 2026).
15. *Central Banks Warn That the AI Boom That Supports Markets Could Lead to a New Crisis*. Available: <https://ru.euronews.com/business/2026/06/29/the-ai-boom-supporting-markets-could-trigger-the-next-crash-central-banks-warn> (Accessed 30 June 2026).
16. Annual Economic Report. June 2026. Bank for International Settlements. Available: <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2026e.pdf> (Accessed 16 July 2026).

17. *Belarusian Scientists Are Working on Solutions for AI Regulation*. Belta. Available: <https://belta.by/society/view/belorussskie-uchenye-rabotajut-nad-reshenijami-v-sfere-regulirovanija-ii-791380-2026/> (Accessed 15 July 2026) (in Russian).
18. *On Changes to Laws Regarding the Digital Belarusian Ruble*. Available: <https://house.gov.by/ru/zakony-ru/view/ob-izmenenii-zakonov-po-voprosam-tsifrovogo-belorussskogo-rublja-1925/> (Accessed 19 July 2026) (in Russian).
19. *Today's Central Bank Digital Currencies Status*. Available: <https://cbdctracker.org/> (Accessed 21 July 2026).

Received: 25 August 2026

Accepted: 10 September 2026

Available on the website: 12 October 2026

Сведения об авторе

Григорьева Я. И., канд. экон. наук, доц. каф. банковского бизнеса и финансовых технологий, Белорусский государственный университет

Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,
Минск, ул. К. Маркса, 31
Белорусский государственный университет
Тел.: +375 17 342-15-39
E-mail: prof820@mail.ru
Григорьева Яна Ивановна

Information about the author

Grigoreva Y., Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor at the Department of Banking Business and Financial Technologies, Belarusian State University

Address for correspondence

220030, Republic of Belarus,
Minsk, K. Marksa St., 31
Belarusian State University
Tel.: +375 17 342-15-39
E-mail: prof820@mail.ru
Grigoreva Yana



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-43-51>

UDC 004.85

MACHINE LEARNING-BASED PREDICTION OF STUDENTS' ACADEMIC PERFORMANCE IN HIGHER EDUCATION

XUNHUAN REN

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

Abstract. In higher education, student academic performance is considered a key educational outcome. Consequently, improving academic performance is a pressing objective for many higher education institutions. Predicting and classifying student performance can provide valuable insights and facilitate the development of appropriate strategies to enhance academic results. In recent years, data mining methods have been widely applied and have demonstrated significant success in classification and prediction tasks. This article presents and analyzes the EASP student performance dataset. Seven machine learning methods were applied to classify and predict student academic performance: Multinomial Naïve Bayes, Support Vector Machines, Decision Trees, Logistic Regression, Random Forest, Gradient Boosting, and k-Nearest Neighbors. The performance of these methods was evaluated using precision, recall, the area under the ROC curve (AUC), and the F1-score. Experimental results demonstrated that Logistic Regression achieved the best predictive performance on the EASP test set, with a precision of 0.75.

Keywords: higher education, academic performance, student performance prediction, educational data mining, machine learning.

Conflict of interests. The author declares that there is no conflict of interests.

For citation. Ren X. (2026) Machine Learning-Based Prediction of Students' Academic Performance in Higher Education. *Digital Transformation*. 32 (3), 43–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-43-51>.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АКАДЕМИЧЕСКОЙ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

С. ЖЭНЬ

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

Аннотация. В высшем образовании академическая успеваемость студентов рассматривается как важный образовательный результат. Поэтому повышение академической успеваемости является актуальной задачей для многих учреждений высшего образования. Прогнозирование и классификация успеваемости студентов могут предоставить ценную информацию и способствовать разработке соответствующих стратегий для улучшения академических результатов. В последние годы методы интеллектуального анализа данных широко применяются и демонстрируют значительные успехи в задачах классификации и прогнозирования. В статье представлен и проанализирован набор данных об успеваемости студентов EASP. Для классификации и прогнозирования академической успеваемости студентов применены семь методов машинного обучения: мультиномиальный наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов, дерево решений, логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг и метод *k*-ближайших соседей. Эффективность этих методов оценивалась с использованием прецизионности, полноты, площади под ROC-кривой (AUC) и F1-меры. Экспериментальные результаты показали, что логистическая регрессия достигает наилучшей прогнозной эффективности на тестовой выборке EASP с прецизионностью 0,75.

Ключевые слова: высшее образование, академическая успеваемость, прогнозирование успеваемости студентов, интеллектуальный анализ образовательных данных, машинное обучение.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Жэнь, С. Прогнозирование академической успеваемости студентов в высшем образовании на основе методов машинного обучения / С. Жэнь // Цифровая трансформация. 2026. Т. 32, № 3. С. 43–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-43-51>.

Introduction

In the post-COVID era, higher education institutions (HEIs) have increasingly considered educational reforms aimed at improving the quality of higher education for future generations [1]. The quality of higher education can be assessed using students' grade point average (GPA), as GPA is commonly regarded as an important indicator of academic performance [2]. Previous studies have also shown that GPA is closely associated with university graduates' future earnings [3]. Therefore, improving students' academic performance, particularly their GPA, has become an important objective of higher education reform.

Previous studies have investigated various factors associated with students' GPA, including college entrance examination scores [4], alcohol and marijuana use [5], relationships with family members and friends [6], race and gender [7], and the amount of time spent studying and working [8]. These studies provide useful insights into the factors influencing academic performance. However, most of them focus on individual factors, whereas improving students' academic performance generally requires the simultaneous consideration of multiple dimensions.

Data mining has attracted considerable attention in recent years. By applying machine learning or deep learning methods, it can efficiently extract valuable information from high-dimensional feature spaces for classification and prediction. In the field of higher education, the application of data mining has gradually developed into educational data mining (EDM), which has been widely investigated for student performance prediction and educational decision support [9–11].

According to the types of datasets used, existing EDM studies on student performance prediction can generally be divided into studies based on open-source datasets and those based on private datasets. One commonly used open-source dataset is the UCI Student Performance dataset, which contains a range of student-related features and has been adopted in numerous previous studies [12]. However, the data were collected before the COVID-19 pandemic and may not fully reflect the current context of higher education. Other studies have used private datasets, which are often more recent and contain a wide range of student-related features [13, 14]. Nevertheless, such datasets are usually difficult to access, which limits their reuse, reproducibility, and comparative analysis.

The effects of alcohol on student performance (EASP) dataset [15] is a recently released open-source dataset containing information collected in 2023 from students at Stellenbosch University in South Africa. The dataset includes a relatively large number of samples and a wide range of relevant features, such as college entrance examination scores, alcohol consumption, family relationships, gender, time spent studying and working, and other student-related variables. Therefore, it provides a useful platform for educational data mining research.

However, to the best of our knowledge, few studies have used the EASP dataset to predict students' academic performance. Therefore, this study applies data mining techniques to predict student performance using this dataset. To simplify the prediction task, student performance is formulated as a binary classification problem. Students whose GPA is higher than the mean GPA are assigned to one class, whereas the remaining students are assigned to the other class.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 describes the EASP dataset and the corresponding data preprocessing procedures. Section 3 presents the overall methodology. Section 4 reports and discusses the experimental results. Finally, Section 5 concludes the paper.

EASP dataset description

The EASP dataset [15] was constructed from a behavioral survey covering factors related to students' daily lives, study habits, and academic performance. These variables may provide useful information for predicting students' academic outcomes and may support the timely adjustment of study strategies.

The dataset contains 406 samples, each described by 15 independent features. However, several variables contain missing values. Therefore, appropriate imputation strategies are applied during data preprocessing. Missing values in the gender variable are imputed by randomly assigning either male or female. Missing values in the 2023 academic-year average GPA are estimated based on the diffe-

rence between a student's admission average score and the overall mean admission score, together with the overall mean GPA for the 2023 academic year. Fig. 1 shows the distribution of students' average GPA in the 2023 academic year.

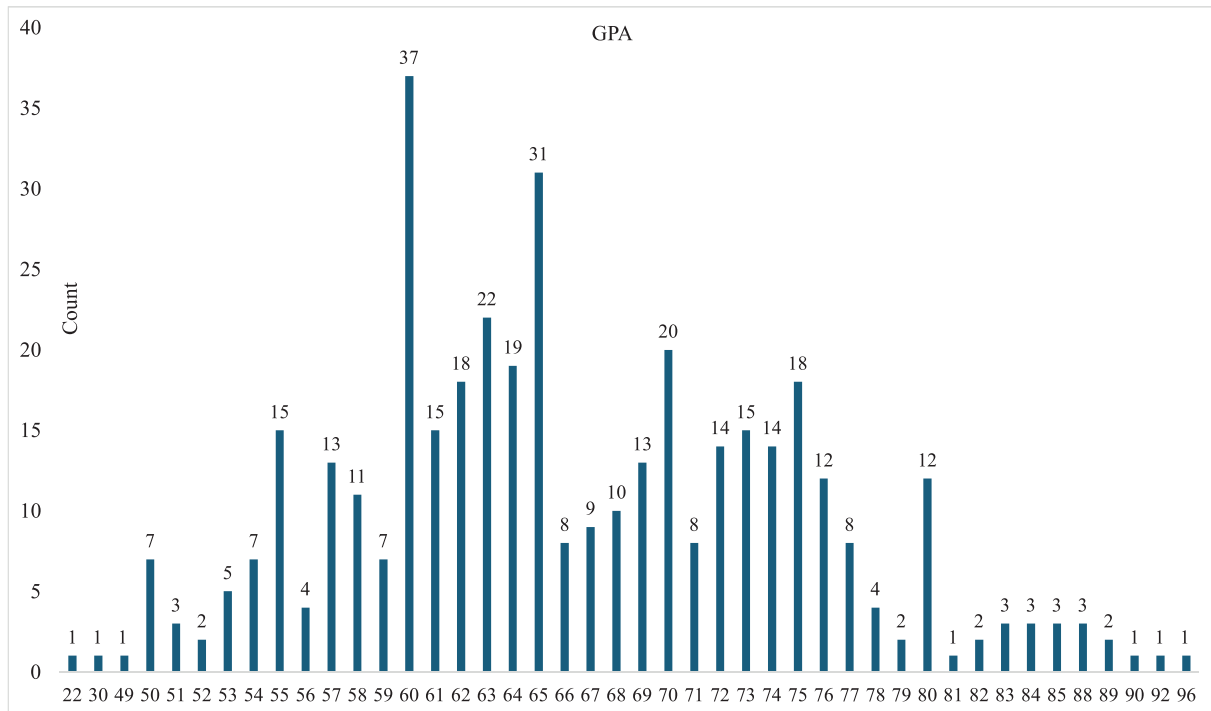


Fig. 1. Students' academic year average grade point average in 2023 academic year

We first calculated the mean and standard deviation of the students' average GPA for the 2023 academic year, which were 66.36 and 9.00, respectively. The students were then divided into two groups according to whether their average GPA was lower than 66.36. Students with an average GPA lower than 66.36 were assigned to one class, whereas the remaining students were assigned to the other class. Tab. 1 presents all 15 features and their corresponding descriptions. In addition, Fig. 2 shows the distributions of six representative features for visualization purposes: gender, additional study hours per week, number of missed classes per week, alcohol consumption, number of failed modules, and frequency of socializing.

Table 1. Features and text descriptions

Feature	Type	Description
Sex	Categorical	Sex or gender of the student
Matric Average	Numerical, continuous	The student's Grade 12 matriculation average, expressed as a percentage
Study Year	Categorical	The student's current year of study
Faculty	Categorical	The faculty at Stellenbosch University to which the student's degree program belongs
Accommodation Status	Binary	Whether the student lives in university accommodation or private accommodation
Monthly Allowance	Categorical	The amount of monthly allowance received by the student while studying in Stellenbosch
Scholarship	Binary	Whether the student receives financial aid or a scholarship
Additional Study Hours per Week	Numerical, discrete	The number of hours spent studying each week in addition to attending scheduled lectures
Socializing Frequency	Numerical, discrete	The frequency with which the student goes out with friends for activities such as clubbing, drinking, or dining
Alcohol Consumption	Numerical, discrete	The number of alcoholic drinks consumed when the student goes out

Ending of Tab. 1

Feature	Type	Description
Missed Classes per Week	Numerical, discrete	The number of classes missed by the student each week
Failed Modules	Numerical, discrete	The number of academic modules the student has failed to date
Romantic Relationship Status	Binary	Whether the student is currently in a romantic relationship
Parental Approval of Alcohol Consumption	Binary	Whether the student's parents approve of the student consuming alcohol
Relationship with Parents	Categorical	The degree of closeness between the student and their parents

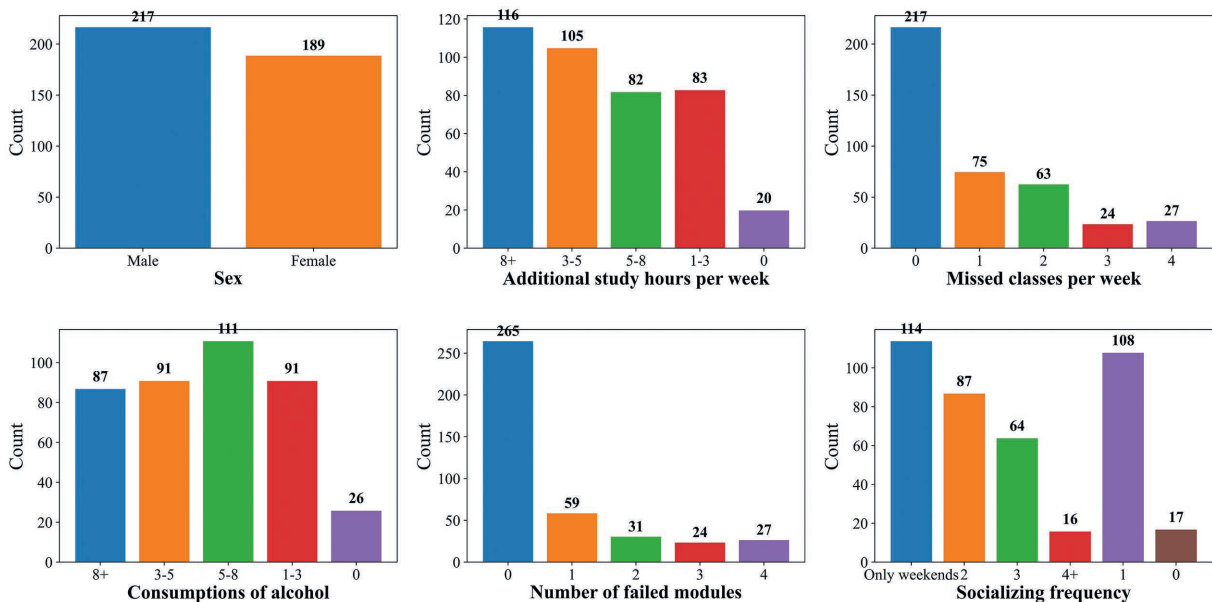


Fig. 2. Distributions of six representative features in the effects of alcohol on student performance dataset

Methodology

The proposed data mining methodology follows a conventional machine learning pipeline. Seven classification algorithms are employed: support vector machine, decision tree, logistic regression, random forest, k -nearest neighbors, multinomial naive Bayes, and gradient boosting. To ensure an objective performance evaluation, the original dataset is divided into two subsets: a training set and an independent test set. The training set is used for model training, hyperparameter optimization, and cross-validation, whereas the test set is used only for the final evaluation of the trained models.

Grid search combined with five-fold cross-validation is applied to determine the optimal hyperparameter configuration for each classifier. The overall structure of the proposed data mining pipeline is illustrated in Fig. 3.

Grid search is a systematic hyperparameter optimization method that evaluates a predefined set of hyperparameter combinations. For each combination, model performance is estimated using five-fold cross-validation, and the configuration with the best validation performance is selected. Although this procedure increases computational cost, it provides a more reliable basis for hyperparameter selection than evaluation based on a single training-validation split.

Cross-validation is an important technique for evaluating the generalization ability of machine learning models. In five-fold cross-validation, the training set is divided into five approximately equal subsets. In each iteration, four subsets are used for training and the remaining subset is used for validation. This process is repeated five times so that each subset is used once as the validation set. The average validation performance is then used for model selection and hyperparameter tuning, thereby reducing the risk of overfitting to a particular data split.

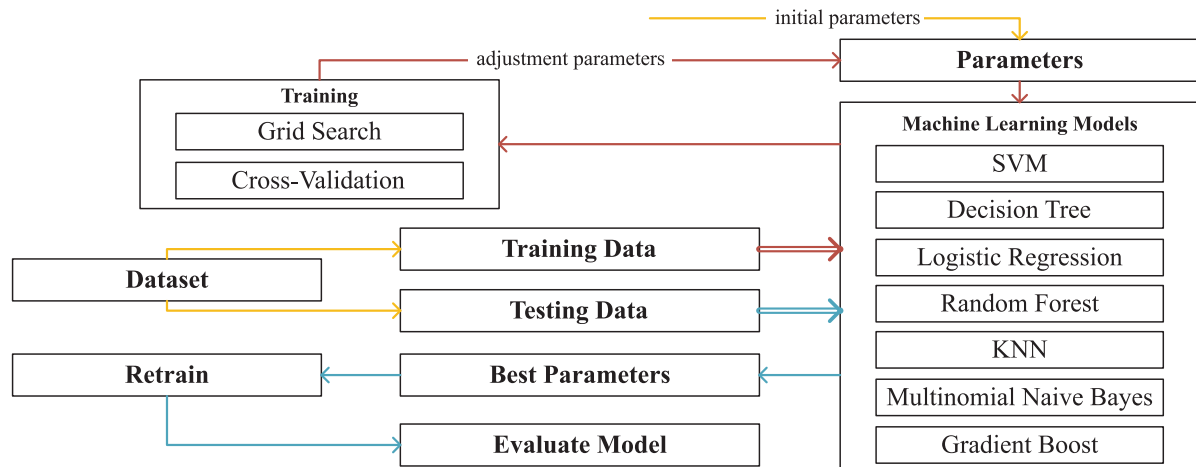


Fig. 3. Overall structure of the data mining pipeline

A. Description of the classifiers

As mentioned above, seven different classifiers are included in the proposed pipeline. Before evaluating their performance on the EASP dataset, it is necessary to briefly review the basic principles of these classifiers and their main hyperparameters.

Support vector machine (SVM) is a classical supervised learning algorithm widely used for classification, regression, and anomaly detection. The basic principle of SVM is to find an optimal separating hyperplane in the feature space so that training samples from different categories can be separated as clearly as possible. This improves the generalization ability of the model and reduces the risk of overfitting.

Decision tree (DT) is a simple and efficient supervised machine learning model that has important applications in many scenarios, such as classification and prediction, feature engineering, anomaly detection, and rule extraction. It is a non-parametric learning algorithm based on a tree structure that recursively divides samples into different child nodes and ultimately produces an interpretable prediction model. When constructing a decision tree, an optimal feature-splitting criterion needs to be selected. Such criteria, including information gain and the Gini index, measure the effectiveness of features in dividing the samples, allowing the features that have the greatest impact on the results to be automatically selected.

Logistic regression (LR) is a supervised learning model widely used for classification problems. As a probabilistic model, LR uses an S-shaped sigmoid function to predict the class probabilities of samples, thereby performing binary or multiclass classification. The LR model is simple and easy to understand, has few parameters, and can be trained rapidly. Therefore, it can effectively handle linearly separable binary classification problems.

Random forest (RF) is an ensemble learning algorithm based on decision trees. It improves prediction accuracy by combining multiple decision tree models and can effectively address the problem of overfitting. Random forest is widely used in many machine learning tasks, such as regression, classification, and clustering, and is favored for its simplicity and robustness.

The k -nearest neighbours (KNN) algorithm is an instance-based, non-parametric learning algorithm that is simple and intuitive and performs well in a variety of machine learning tasks, such as classification, regression, and clustering. It is also known as a “lazy learning” algorithm because it identifies the (K) training samples most similar to a new input instance and predicts the label or value of the new instance based on their class labels or values. The number of neighbours is the most important hyperparameter of the KNN algorithm, as it determines the number of neighbouring training samples considered when predicting new samples. When (K) is small, KNN tends to produce high variance, potentially overfitting the training set. When (K) is large, KNN may produce high bias, potentially resulting in underfitting and failing to capture the complex features of the data.

Naive Bayes (NB) is a simple and efficient classification algorithm based on Bayes’ theorem and is widely used in machine learning and data mining. It is based on the assumption of conditional

independence and achieves fast classification of unknown samples by calculating the conditional probabilities between sample features and classes. It has demonstrated excellent performance in many practical applications, such as spam filtering and text classification. Multinomial naive Bayes is a variant of the Naive Bayes algorithm specifically designed to deal with problems involving discrete features, such as text classification.

Gradient boosting (GB) is an ensemble learning algorithm based on an additive model. It iteratively constructs weak learners, such as decision trees, and optimizes the loss function using gradient descent to obtain a robust prediction model. Unlike parallel ensemble methods such as random forest, gradient boosting uses a sequential ensemble approach to improve the model's fit to the training data in each iteration. The gradient boosting algorithm has been widely used in several machine learning fields, such as regression and classification, and has achieved excellent performance.

B. Model hyperparameter tuning using grid search

We optimized the hyperparameters using a grid search technique to identify the parameter combinations that produced the best algorithmic performance. Grid search is a widely used hyperparameter optimization technique that first defines a predefined grid of hyperparameter values and then evaluates each parameter combination using cross-validation. The parameter setting that produces the best results is ultimately selected. Through this systematic parameter search and performance evaluation, the potential of each algorithm can be fully utilized, and its performance in practical applications can be improved. The detailed process of hyperparameter optimization using grid search and cross-validation is described as follows:

- 1) select a specific algorithmic model, such as DT or RF;
- 2) determine the hyperparameters to be optimized and their value ranges and combine them into a parameter grid;
- 3) traverse all hyperparameter combinations using grid search;
- 4) evaluate the average performance of each combination using cross-validation. In this study, five-fold cross-validation is used;
- 5) select the parameter combination with the highest cross-validation score.

The combination of grid search and cross-validation can effectively reduce the risk of overfitting and identify the optimal hyperparameter settings within the predefined search space. It systematically explores the parameter space and reduces the influence of randomness in sample selection, making it a commonly used and reliable optimization method.

Experiments and result discussion

The main metrics used to evaluate the performance of the model include precision, recall, F1-score and AUC. Their calculation procedure is shown below:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}; \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}; \quad (2)$$

$$\text{F1-Score} = \frac{2 \cdot (\text{Precision} \times \text{Recall})}{\text{Precision} + \text{Recall}}, \quad (3)$$

where TP (true positive) is number of correctly predicted positive samples; FP (false positive) is number of incorrectly predicted positive samples; FN (false negative) is number of samples that are incorrectly predicted to be negative.

$$\text{AUC} = \frac{1}{n_+ n_-} \sum_{i=1}^{n_+} \sum_{j=1}^{n_-} I(S(Pos(x_i)) > S(Neg(x_j))), \quad (4)$$

where n_+ is the number of positive samples; n_- is the number of negative samples; $S(Pos(x_i))$ is the predicted score for the i -th positive sample; $S(Neg(x_j))$ is the predicted score for the j -th negative sample; $I(\cdot)$ is an indicator function that returns 1 if the condition is true and 0 otherwise.

The AUC value ranges from 0 to 1. A higher AUC value indicates better model performance. The experimental results obtained using different classifiers on the EASP dataset are shown in Tab. 2.

Table 2. Experimental results obtained using different classifiers

Algorithm	Precision on the training set	Best parameters of the model	Test precision	Test recall	Test AUC	Test F1-score
SVM	0.77	C = 10, Linear Kernel	0.73	0.64	0.78	0.67
DT	0.80	Max Depth = 3, Min Samples Split = 2	0.75	0.64	0.77	0.69
LR	0.74	C = 100, Penalty = 12	0.75	0.68	0.79	0.70
RF	0.81	Max Depth = 3, Max Features = sqrt, Min Samples Split = 2	0.75	0.58	0.80	0.67
KNN	0.72	N Neighbors = 7	0.63	0.55	0.70	0.56
Multinomial NB	0.66	Alpha = 0.01, Fit Prior = True	0.68	0.77	0.73	0.68
GB	0.82	N Estimators = 50, Learning Rate = 0.1, Max Depth = 2	0.75	0.64	0.81	0.69

From Tab. 2, it can be seen that the logistic regression algorithm achieves a precision of 0.74 on the training set. With the best model parameters on the test set precision is 0.75, recall is 0.68, AUC is 0.79 and F1-score is 0.7. Compared to other algorithms logistic regression algorithm has the best overall performance on the test set. The gradient boosting algorithm achieves a precision of 0.82 on the training set, which is the highest of these algorithms. With the best parametric model on the test set precision is 0.75, recall is 0.64, AUC is 0.81 and F1-score is 0.69. It is slightly inferior to the logistic regression algorithm in terms of overall performance on the test set, but superior to the other algorithms.

Fig. 4 and 5 show the confusion matrices and ROC curves of all seven classifiers on the test set, respectively.

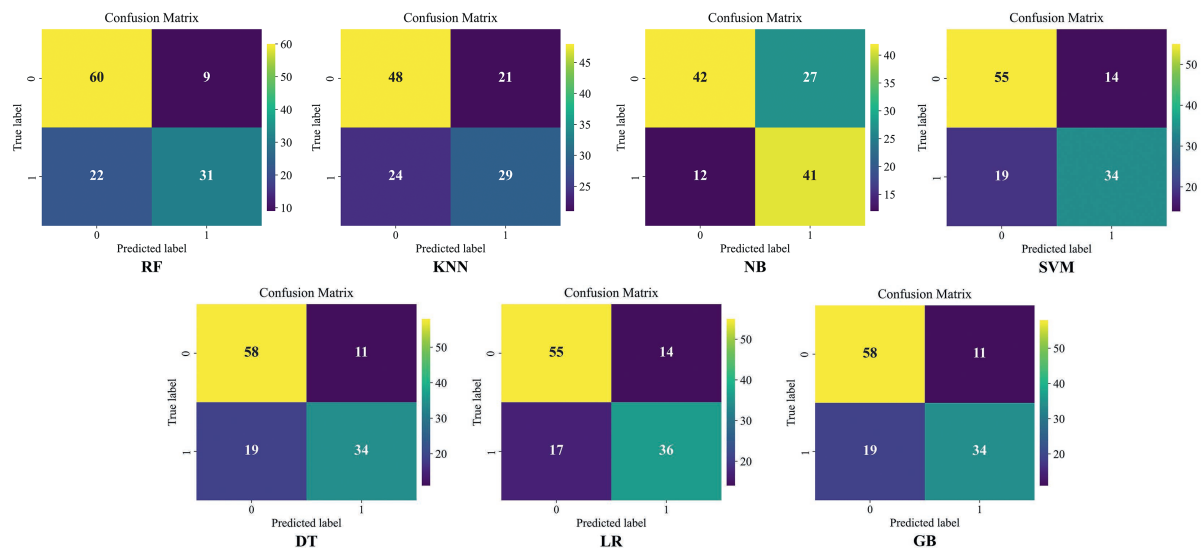


Fig. 4. Confusion matrices of the seven classifiers on the test set

Conclusion

1. In this paper, student academic performance prediction was investigated using the recently released effects of alcohol on student performance dataset. Seven widely used machine learning classifiers were evaluated, including support vector machine, decision tree, logistic regression, random forest, k -nearest neighbours, multinomial naive Bayes, and gradient boosting. Grid search and five-fold cross-validation were used to optimize the hyperparameters of each model.

2. The experimental results show that gradient boosting achieved the highest training precision of 0.82. However, logistic regression demonstrated the best overall performance on the independent test set, achieving a precision of 0.75, recall of 0.68, AUC of 0.79, and F1-score of 0.70. These results indicate that relatively simple machine learning models can still provide competitive and robust performance for student academic performance prediction when the dataset size is limited.

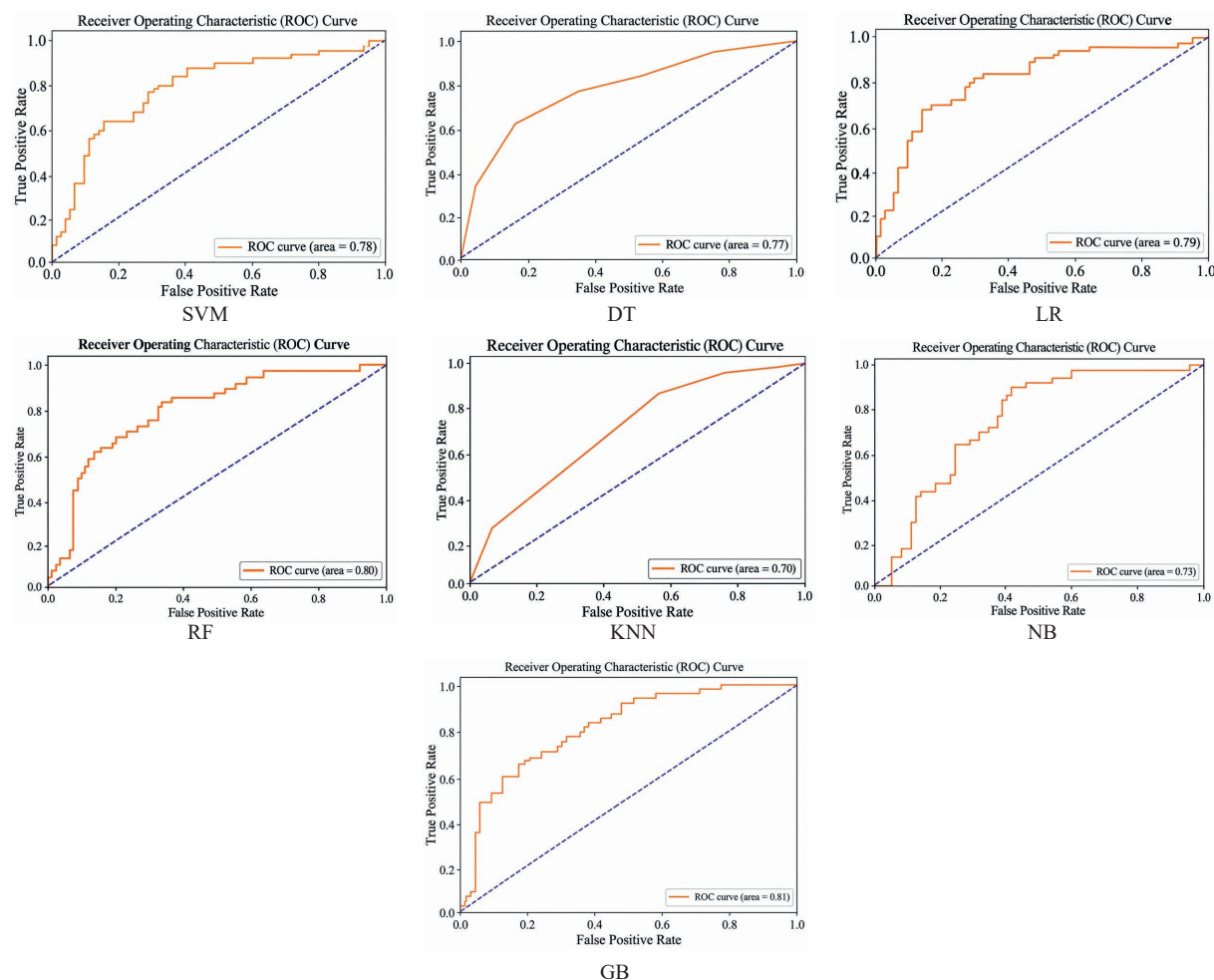


Fig. 5. ROC curves of the seven classifiers on the test set

3. From a practical perspective, the proposed machine learning framework can be adapted for use in higher education institutions in the Republic of Belarus, including the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR). By using locally collected student data, such as academic records, attendance information, study workload, and other relevant educational indicators, the framework could be used to identify students at risk of low academic performance at an early stage. The obtained predictions could support teachers, academic advisers, and university administrators in providing timely academic assistance and developing more targeted educational interventions. At BSUIR, such an approach could potentially be integrated into educational analytics and student monitoring systems to support data-driven academic management. However, before practical deployment, the models should be retrained and validated using data collected from BSUIR students in order to account for differences in the educational environment, student population, and institutional characteristics.

4. Future work will focus on collecting and analyzing local student data from Belarusian higher education institutions, particularly BSUIR, expanding the dataset, improving feature engineering, and exploring more advanced ensemble learning and deep learning methods for educational data mining.

References

1. Rasli A., Fei Z., Abas I. H., Tee M., Prestianawati S. A., Lajuma S., et al. (2024) A Framework for Higher Education Institutions Sustainability: A Multi-Method Study. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*. 8 (5). <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i5.3566>.
2. Daka H., Changwe R. (2020) An Exploration of Education Quality in the Light of the Grade Point Average and Examination Attrition Rate. *International Journal of Humanities Social Sciences and Education*. 7 (6), 196–207. <http://dx.doi.org/10.20431/2349-0381.0706021>.

3. Zou T., Zhang Y., Zhou B. (2022) Does GPA Matter for University Graduates' Wages? *New Evidence Revisited. PLoS One.* 17 (4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266981>.
4. Bai C. E., Chi W., Qian X. (2014) Do College Entrance Examination Scores Predict Undergraduate GPAs? A Tale of Two Universities. *China Economic Review.* 30, 632–647.
5. Meda S. A., Gueorguieva R. V., Pittman B., Rosen R. R., Aslanzadeh F., Tennen H., et al. (2017) Longitudinal Influence of Alcohol and Marijuana Use on Academic Performance in College Students. *PLoS One.* 12 (3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172213>.
6. Wider W., Tanucan J. C. M., Lin J., Jiang L., Udang L. N. (2023) Who Makes a Better University Adjustment Wingman: Parents or Friends? *PLoS One.* 18 (12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294658>.
7. Bottia M. C., Giersch J., Mickelson R. A., Stearns E., Moller S. (2015) Distributive Justice Antecedents of Race and Gender Disparities in First-Year College Performance. *Social Justice Research.* 29 (1), 35–72.
8. Nonis S. A., Hudson G. I. (2006) Academic Performance of College Students: Influence of Time Spent Studying and Working. *Journal of Education for Business.* 81 (3), 151–159.
9. Albreiki B., Zaki N., Alashwal H. (2021) A Systematic Literature Review of Students' Performance Prediction Using Machine Learning Techniques. *Education Sciences.* 11 (9). <https://doi.org/10.3390/educsci11090552>.
10. Yağcı M. (2022) Educational Data Mining: Prediction of Students' Academic Performance Using Machine Learning Algorithms. *Smart Learning Environments.* 9. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00192-z>.
11. Dutt A., Ismail M. A., Herawan T. (2017) A Systematic Review on Educational Data Mining. *IEEE Access.* 5, 15991–16005. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2654247>.
12. Mansur B. F., Yusof N. (2018) The Latent of Student Learning Analytic with K-Mean Clustering for Student Behaviour Classification. *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence.* 4 (2), 156–161. <https://doi.org/10.20473/JISEBI.4.2.156-161>.
13. Hasan H. M. R., Rabby A. S. A., Islam M. T., Hossain S. A. (2019) Machine Learning Algorithm for Student's Performance Prediction. *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies.* 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT45670.2019.8944629>.
14. Salah H. A., Akeel A. W., Khalaf H. A. (2020) Student Performance Prediction Model Based on Supervised Machine Learning Algorithms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 928 (3). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/928/3/032019>.
15. *Effects of Alcohol on Student Performance Dataset.* Available: <https://www.kaggle.com/datasets/joshuanaude/effects-of-alcohol-on-student-performance>.

Received: 16 July 2026

Accepted: 2 September 2026

Available on the website: 12 October 2026

Information about the author

Ren X., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor at the Department of Infocommunication Technologies, 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 25 605-85-95
E-mail: renxunhuan@bsuir.by
Ren Xunhuan



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-52-61>

УДК 004.89, 007.3

СТРАТЕГИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССНОГО ПОДХОДА И ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

А. В. БОРИСЕВИЧ^{1,2}, С. А. БОРИСЕВИЧ³, М. М. ЛУКАШЕВИЧ⁴

¹ОАО «Банк БелВЭБ» (Минск, Республика Беларусь)

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(Минск, Республика Беларусь)

³ООО «ВЭБ Технологии» (Минск, Республика Беларусь)

⁴Белорусский государственный университет (Минск, Республика Беларусь)

Аннотация. Рассмотрен процессный подход в контексте цифровой трансформации организаций. Проанализированы ключевые аспекты цифровой трансформации, искусственного интеллекта, машинного и глубокого обучения как инструментов для оптимизации и улучшения процессных моделей. Представлена процессная модель в виде карты бизнес-процессов, выступающая основой для цифровой трансформации и обеспечивающая прозрачность управления, устранение дублирования функций и стандартизацию операций. Показано, что процессный подход может служить основой для эффективной реализации стратегии цифровой трансформации, способствуя повышению гибкости, устойчивости и конкурентоспособности компании.

Ключевые слова: цифровая трансформация, процессная модель, бизнес-процессы, цифровизация, машинное обучение, искусственный интеллект.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Борисевич, А. В. Стратегия цифровой трансформации организации на основе процессного подхода и технологий искусственного интеллекта / А. В. Борисевич, С. А. Борисевич, М. М. Лукашевич // Цифровая трансформация. 2026. Т. 32, № 3. С. 52–61. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-52-61>.

DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGY FOR AN ORGANIZATION BASED ON A PROCESS-ORIENTED APPROACH AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

ANATOLY BORISEVICH, SERGEY BORISEVICH, MARINA LUKASHEVICH

¹OJSC “Bank BelVEB” (Minsk, Republic of Belarus)

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

³VEB Technologies LLC (Minsk, Republic of Belarus)

⁴Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The process-based approach is examined within the context of organizational digital transformation. Key aspects of digital transformation, artificial intelligence, and machine and deep learning are analyzed as tools for optimizing and improving process models. A process model is presented in the form of a business process map, serving as a foundation for digital transformation while ensuring management transparency, the elimination of function duplication, and the standardization of operations. It is demonstrated that the process-based approach can serve as a basis for the effective implementation of a digital transformation strategy, thereby enhancing the company's agility, resilience, and competitiveness.

Keywords: digital transformation, process model, business processes, digitalization, machine learning, artificial intelligence.

Conflict of interests. The authors declare that there is no conflict of interests.

For citation. Borisevich A., Borisevich S., Lukashevich M. (2026) Digital Transformation Strategy for an Organization Based on a Process-Oriented Approach and Artificial Intelligence Technologies. *Digital Transformation*. 32 (3), 52–61. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-52-61> (in Russian).

Введение

Вопросам цифровой трансформации (ЦТ) в Республике Беларусь уделяется особое внимание. Ряд мероприятий страны направлен на повышение эффективности экономики и упрощение жизни граждан через внедрение технологий (искусственный интеллект (ИИ), машинное зрение, облачные вычисления) в рамках Госпрограмм «Цифровое развитие» (2021–2025) и «Цифровая Беларусь» (2026–2030). Ключевыми фокусами являются экономика данных, развитие умных городов, создание импортонезависимой экосистемы программного обеспечения (ПО), внедрение ID-карт, электронных накладных (EDI) и проактивное оказание госуслуг. Цифровая трансформация предприятий и отраслей Беларуси является актуальной задачей, стоящей на всех уровнях: от государственного до отдельных организаций и предприятий [1–3].

В статье приведена формализация этапов ЦТ организации на основе процессной модели и технологий ИИ как главного современного драйвера информационных технологий.

Теоретико-методологические основы цифровой трансформации

Единого общепринятого определения понятия «цифровая трансформация» нет. В зависимости от того, на что делается акцент, выделяют несколько подходов в формулировках.

Стратегический и процессный подход. ЦТ рассматривается как комплексный процесс изменений в структуре и стратегии организации. В [4] автор определяет ЦТ как процесс развития организационного и технологического потенциала, который позволяет компании постоянно улучшать качество обслуживания клиентов, снижать удельные затраты и сохранять конкурентное преимущество. В [5] указано, что это качественные изменения в бизнес-процессах или способах осуществления экономической деятельности (бизнес-моделях), приводящие к значительным социально-экономическим эффектам. Отдельные исследователи считают, что ЦТ заключается в организационных изменениях благодаря реализации проектов цифровизации [6]. В [7] ЦТ определяется как применение совокупности информационных, вычислительных, коммуникационных и сетевых технологий.

Ценностный подход можно рассматривать как процесс трансформации бизнес-моделей на основе цифровых технологий [8]. В [9] отмечается, что это фактически изменение продуктов, организационных структур, а также автоматизация процессов. Ценностный подход иногда определяет ЦТ как бизнес-модель, которая позволяет создавать ценность и получать доход. В [10] указано, что это постоянно нарастающее взаимодействие между цифровыми технологиями, бизнесом и обществом.

Организационный подход и новое мышление. Некоторые определения подчеркивают ментальные и культурные изменения, которые происходят в процессе цифровой трансформации. ЦТ – это процесс перехода организации от устаревшего подхода к новым способам работы и мышления с использованием цифровых, социальных, мобильных и новых технологий [11]. Microsoft [12] указывает, что основная цель ЦТ – повысить конкурентоспособность и дать возможность компании развиваться в постоянно меняющихся экономических условиях. В ряде случаев считается, что это достижение операционной эффективности и гибкости.

Технологический (компонентный) подход. Определения ЦТ связаны с конкретным технологическим стеком. ЦТ включает конкретный набор технологий: социальные сети, облака, мобильный интернет, большие данные, ИИ, 3D-печать и дополненную реальность. Еще одним определением ЦТ является трансформация на базе «третьей платформы» (облака, мобильность, социальные технологии, большие данные), позволяющая минимизировать долю нецифровых активов [12].

Следует подчеркнуть, что нужно разделять понятие ЦТ и смежные понятия, а именно – оцифровку и цифровизацию. Оцифровка (digitization) – это перевод аналоговых данных в цифровой формат. Под цифровизацией (digitalization) понимают использование цифровых технологий для улучшения существующих процессов или создания новых источников доходов.

ЦТ не ограничивается лишь автоматизацией процессов. Фактически – это переосмысление бизнес-процессов компании. ЦТ может включать (но не ограничивается) следующие ключевые этапы:

- разработка стратегии и дорожной карты;
- формирование кадрового резерва;
- организация операционной модели;
- определение и внедрение ключевых архитектур и технологий;
- управление данными;
- внедрение и масштабирование цифровых решений;
- выявление и работа с рисками, формирование внешнего доверия к компании и внутри компании.

Несмотря на большое число подходов к пониманию ЦТ, в статье в качестве базовой методологии выбран процессный подход. Именно процессная модель позволяет объединить стратегические цели, технологии и организационную культуру. Стратегический подход задает лишь вектор развития, определяя верхнеуровневые ориентиры. Подход через создание ценности и бизнес-модели делает значительный акцент на результатах, чем на способах их достижения. Организационный подход не привязан к конкретным видам работ и может оказаться сугубо декларативным. Технологический подход определяет инструменты и стек технологий, но может носить фрагментарный характер. Выбор процессного подхода обусловлен тем, что в его рамках можно четко обозначить «точки» ЦТ. Описание процессов дает возможность адресно внедрять технологии ИИ и обеспечивать синхронизацию с этапами ЦТ. Поэтапное изменение процессов снижает риски, обеспечивает непрерывность деятельности и сохраняет устойчивость организации.

Стратегия цифровой трансформации

На основе практического опыта и результатов исследований формализуем этапы стратегии цифровой трансформации.

Этап 1. Стратегическое планирование. Включает формулировку целей и общей концепции, разработку дорожной карты с указанием сроков реализации мероприятий, оценку степени готовности к ЦТ, а также определение приоритетных направлений трансформации.

Этап 2. Построение карты бизнес-процессов с декомпозицией на этапы. Включает сбор и анализ регуляторных требований, а также выявление дублирования функций и узких мест в процессах.

Этап 3. Определение «точек» трансформации. Оценка потенциала автоматизации каждого этапа процесса и классификация точек трансформации по типу применяемых технологий (классическое ПО, ИИ-решения, гибридные подходы).

Этап 4. Формирование цифровой архитектуры. Определение технологического стека, разработка сценариев интеграции с существующими системами и проектирование архитектуры управления данными (data governance).

Этап 5. Подготовка данных и разработка ИИ-решений. Реализация типового конвейера (пайплайна) разработки моделей с учетом специфики каждого типа данных. Тестирование решений в пилотных зонах с оценкой эффективности по бизнес-метрикам.

Этап 6. Внедрение цифровых решений в бизнес-процессы. Развертывание решений, обучение сотрудников и формирование кросс-функциональных команд поддержки. Для отдельных категорий сотрудников обучение может начинаться параллельно с первыми этапами стратегии.

Этап 7. Мониторинг и непрерывная оптимизация. Отслеживание производительности ИИ-моделей для своевременного выявления деградации качества или дрейфа данных, а также непрерывное переобучение и дообучение моделей.

Процессная модель

В рамках процессного подхода процессная модель представляет собой формализованное описание деятельности предприятия в виде карты бизнес-процессов. Процессная модель отличается от классической организационной структуры тем, что основной акцент делается на порядок действий и на результат. Процессная модель имеет ряд преимуществ, таких как прозрачность

управления, устранение дублирования функций, стандартизация операций. Появляются возможности автоматизации и внедрения современных информационных технологий в целом и инструментов ИИ в частности. Кроме того, процессный подход помогает соблюдать законодательные и внутренние требования и нормы [13].

Модель может иметь схематичное или структурное описание того, как последовательно выполняются действия (реализуются этапы) в рамках каждого процесса [14]. Самым очевидным является текстовое описание, но оно страдает определенной избыточностью, что затрудняет автоматизацию. Табличная форма записи (матрица) часто используется для описания бизнес-процессов, понятна и интерпретируема. Блок-схемы, нотация BPMN (модель и нотация бизнес-процессов, Business Process Model and Notation), диаграммы потоков данных и цепочки событий относятся к графическим формам представления процессной модели и также часто используются на практике, являясь хорошей визуализацией [10, 15]. Реже прибегают к математическим и формальным моделям [16]. Интерактивные и формальные модели сложны для применения на этапе внедрения процессного подхода и могут быть использованы уже при определенной степени внедрения процессного подхода с целью визуализации этапов и процессов в режиме реального времени. Ряд научных работ исследуют концепцию цифровых двойников, которая является развитием процессного подхода [17]. Кроме того, исследователи анализируют как ИИ в целом, машинное и глубокое обучение, а также языковые модели могут улучшить и оптимизировать процессный подход [18, 19].

В статье используется табличное представление процессов и этапов как отдельных элементов. По результатам анализа процессов каждый этап (или группа этапов) рассматривается в качестве «точки» трансформации, для которой определяются потенциал и возможность трансформации. Предварительно установлено, что процессы и этапы могут быть автоматизированы полностью, частично или в принципе не подходят для автоматизации. Выделяются следующие варианты трансформации: внедрение классического ПО, внедрение ИИ-технологий, гибридное решение, сочетающее классическое ПО и ИИ-технологии. На рис. 1 приведен пример построения карты процессов с обозначением потенциала и средств трансформации. Карта процессов не является реальной и служит исключительно для демонстрации общего подхода.

Процесс	Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5	Этап 6	Этап 7
Кредитование физлиц	Подача заявки	Проверка документов	Скоринг	Принятие решения	Оформление договора	Выдача кредита	
Обслуживание в чате	Поступление запроса	Классификация	Поиск информации	Генерация ответа	Модерация	Отправка	
Обработка заявки на ипотеку	Заявка	Оценка недвижимости	Проверка доходов	Юридическая экспертиза	Одобрение	Подписание	Регистрация
Открытие счёта	Заявка	Верификация клиента	Создание счёта	Уведомление клиента			
Проверка на мошенничество	Обнаружение аномалии	Анализ транзакции	Сравнение с паттернами	Оповещение	Блокировка		
Выпуск карты	Заказ	Печать	Активация	Доставка	Подтверждение получения		
Инвестиционное консультирование	Анкетирование	Оценка профиля риска	Формирование портфеля	Рекомендация	Мониторинг		

Полная автоматизация	Нет потенциала автоматизации
Частичная автоматизация	Не применимо / пустой этап

Рис. 1. Пример карты бизнес-процессов с оценкой потенциала автоматизации
Fig. 1. Example of a business process map with an assessment of automation potential

Технологии искусственного интеллекта в цифровой трансформации

Технологии ИИ внедряются практически во всех сферах и становятся приоритетным направлением ЦТ. Методы машинного обучения (МО) и глубокого обучения (ГО) основываются на данных.

Рассмотрим модели ИИ в разрезе типа данных, с которым необходимо работать в разных задачах. Исходя из типа данных, можно выделить несколько направлений в ИИ, которые в той или иной степени будут актуальны для организаций (табл. 1).

Таблица 1. Типы данных и домены
Table 1. Data types and domains

№ пп	Тип данных	Направление (домен)
1	Табличные данные	Аналитика и прогнозирование (предиктивная аналитика, скоринг, обнаружение аномалий, рекомендательные системы)
2	Изображения, видео	Компьютерное зрение (распознавание объектов, сегментация, классификация изображений, видеоаналитика)
3	Физические сигналы	Анализ временных рядов и сигналов (прогнозирование, предиктивное обслуживание, IoT-аналитика, обработка сенсорных данных)
4	Текст	Обработка естественного языка – NLP (классификация текста, анализ тональности, извлечение сущностей, машинный перевод, генерация текста)
5	Речь, звук	Речевые технологии (автоматическое распознавание речи – ASR, синтез речи – TTS, верификация диктора, обработка аудиосигналов)

Алгоритм МО – это последовательность инструкций, используемая для построения модели МО. Примеры включают линейную регрессию, деревья решений, метод опорных векторов и нейронные сети. Модель ИИ – структура данных, хранящая представление обучающего набора (веса и смещения). Модель создается (обучается), когда применяется алгоритм к обучающему набору данных. Обобщенная структура процесса разработки ИИ-моделей представлена на рис. 2 и включает следующие ключевые этапы: сбор и разметку данных, предобработку данных и инженерии признаков, обучение модели, валидацию, оценку качества модели, развертывание модели.

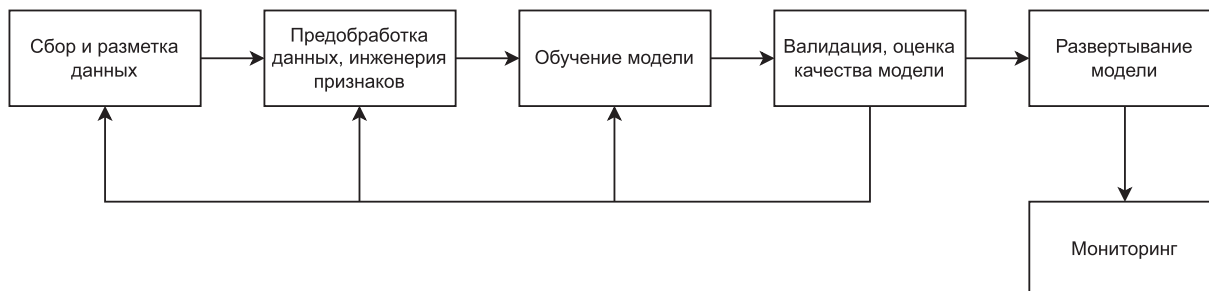


Рис. 2. Обобщенная структура процесса разработки моделей искусственного интеллекта
Fig. 2. Generalized structure of the artificial intelligence model development process

Для каждого домена есть свои специфические особенности в процессе разработки модели исходя из различных типов данных.

Табличные данные являются структурированными; с вычислительной точки зрения размер данных и размерность объектов (число признаков) не создают критических нагрузок при вычислениях. Типовыми задачами являются регрессия, бинарная или многоклассовая классификация, кластеризация, а также ранжирование. Важный этап – инженерия признаков, которая может занимать значительную часть времени проекта и увеличивать размерность данных. Для оценки качества моделей используются общепринятые метрики, такие как ROC-AUC, F1-score, RMSE. С алгоритмической точки зрения решения строятся как на основе классических алгоритмов МО, включая ансамблевые методы (деревья решений, XGBoost, LightGBM и др.), так и на основе нейронных сетей (TabNet, TabTransformer и др.). Сложность разметки таких данных невысокая, хотя и требует экспертного участия. Технология переноса обучения не применяется в той степени, как в компьютерном зрении, но определенное предобучение моделей на смежных задачах возможно. Все зависит от конкретных требований, но в целом можно рассматривать развертывание моделей как на центральном процессоре (ЦП) Central Processing Unit, CPU), так и на графическом процессоре (ГП) (Graphics Processing Unit, GPU). Специфическими задачами при работе с табличными данными являются дисбаланс классов и дрейф данных. Также следует учитывать,

что данные такого типа часто используются, например, в финансовой сфере, где при разработке моделей могут предъявляться требования со стороны регуляторов к алгоритмам, данным и интерпретируемости моделей.

В компьютерном зрении основными типами данных являются изображения и видео, которые представляют собой неструктурированные данные с определенными зависимостями между пикселями в пространственной области. Размерность данных очень высокая. При этом могут использоваться не только полутоновые (одноканальные) изображения, но и изображения с тремя (RGB) и более каналами (например, спектрозональные снимки земной поверхности). Основными задачами являются классификация, детекция, трекинг и реидентификация объектов на изображениях и видео, сегментация изображений, выделение ключевых точек. В качестве метрик для оценки качества моделей используются ассигасу, mAP, IoU. Практически все решения строятся на нейронных сетях, включая сверточные архитектуры и архитектуры на основе трансформеров. Отдельно следует отметить архитектуру YOLO, реализованную в библиотеке Ultralytics, которая широко применяется в компьютерном зрении. Один из трудоемких этапов – разметка данных, особенно для задач сегментации; этот процесс можно частично автоматизировать, используя предобученные ИИ-модели для предварительной разметки с последующей корректировкой результатов. Интерпретируемость таких моделей низкая – можно лишь визуализировать карты активации, например, с помощью метода Grad-CAM. Широко применяется технология трансферного обучения с использованием предобученных сетей на наборе данных ImageNet, что позволяет проводить дообучение на собственных данных. Для развертывания моделей часто требуется ГП, чтобы обеспечить высокую скорость вывода моделей, особенно для задач реального времени. К числу типичных проблем при разработке моделей относятся сложные сцены, изменения освещенности и перекрытие объектов. Работа с персональными данными, в том числе биометрическими, представленными в визуальном виде, регулируется на законодательном уровне, что необходимо учитывать как при сборе данных, так и при разработке моделей.

Работа с физическими сигналами в рамках МО часто встречается в промышленности и производстве, медицине и здравоохранении, энергетике и реже – в финансовом секторе. Это требует анализа и построения моделей для временных рядов, где вычислительная нагрузка может считаться выше среднего. Типичными задачами являются прогнозирование, обнаружение аномалий и классификация событий. Для оценки точности моделей используются такие метрики, как MAE, RMSE, precision/recall. В части архитектур применяются одномерные сверточные нейронные сети, а также рекуррентные нейронные сети (Recurrent Neural Network (RNN), Long Short-Term Memory (LSTM)) и архитектура трансформеров (Transformers). Для разметки данных требуется предметная экспертиза. Интерпретируемость таких моделей выше, чем у моделей компьютерного зрения, но ниже, чем у табличных данных. Как и в случае с табличными данными, предобученные модели используются значительно реже, чем в компьютерном зрении. К такого рода моделям предъявляются высокие требования как к точности, так и к стабильности работы.

Задачи генерации и анализа текста в настоящее время востребованы как никогда ранее при реализации вопросно-ответных систем, чат-ботов и RAG-систем (Retrieval-Augmented Generation, генерация с дополнением через поиск). Текст представляет собой последовательность токенов и имеет иерархическую структуру (предложение, абзац). Размерность данных (глубина) увеличивается за счет применения эмбединг-моделей для представления токенов. Основными задачами являются генерация текста, машинный перевод, суммаризация текста, классификация, а также извлечение именованных сущностей. Помимо классических метрик (accuracy, F1-score), используются специфические для NLP (Natural Language Processing) метрики: BLEU, ROUGE (для задач генерации) и перплексия (perplexity). Модели на основе рекуррентных нейронных сетей (RNN, LSTM) относительно просты и отчасти устарели. В настоящее время широкое применение находят архитектуры BERT, T5 и различные эмбединг-модели. Как и в компьютерном зрении, работа с текстовыми данными требует ручной разметки, что занимает значительную часть времени при реализации проекта. Формальная интерпретация результатов не представляет большой сложности, однако семантическая интерпретация остается сложной задачей. Чаще всего применяются предобученные модели от провайдеров больших языковых моделей (Large Language Model, LLM) и промышленных разработчиков. Создание моделей с нуля в рамках небольших компаний или команд затруднено, так как требует значительных вычислительных ресурсов и объемов дан-

ных для обучения. Возможны два основных подхода: тонкая настройка (fine-tuning) существующих больших языковых моделей либо разработка решений для относительно простых задач (например, классификация отзывов клиентов). При работе с текстовыми моделями необходимо учитывать этические нормы и культурный контекст. Использование LLM в облаке через публичные API (Application Programming Interface, интерфейс программирования приложений) зачастую не позволяет работать с чувствительными или персональными данными в силу требований информационной безопасности.

В настоящее время решения по анализу и обработке речи и звука строятся на технологиях МО и ИИ. Интерпретируемость таких моделей невысокая. Активно используются предобученные на крупных аудиокорпусах модели. Основные сложности возникают из-за шума в аудиосигнале, перекрывающейся речи, вариативности акцентов и тембров голоса, что требует применения продвинутых методов обработки. Как и в предыдущих доменах, при работе с записями разговоров, биометрической верификацией и иными конфиденциальными данными существуют ограничения, в том числе законодательные.

«Поставщиками» ИИ-моделей могут выступать как внутренние подразделения или команды организации, на которые возложены функции разработки и внедрения ИИ-решений, так и привлеченные внешние команды. На них же возлагаются функции выбора и адаптации моделей с открытым исходным кодом (open-source) и моделей от глобальных поставщиков для тех случаев, когда разработка моделей с нуля нецелесообразна. «Потребителями» ИИ-моделей можно считать бизнес-процессы, человека (сотрудника), ИИ-агентов, а также мультиагентные системы, в рамках которых ИИ-модель выполняет основные интеллектуальные функции.

Для каждого этапа процессной модели исходя из потенциала и типа автоматизации определим необходимые ресурсы. Выделим несколько типов ресурсов: модели ИИ, классическое ПО, данные, человек. Установим связи между каждым этапом карты ЦТ и указанными типами ресурсов. При этом акцент будет сделан на переиспользование одной модели в различных точках трансформации при реализации однотипных этапов (например, решение для распознавания текста на изображениях, Optical Character Recognition (OCR)). На рис. 3 приведен пример установленных взаимосвязей между этапами процесса и ресурсами для ЦТ.

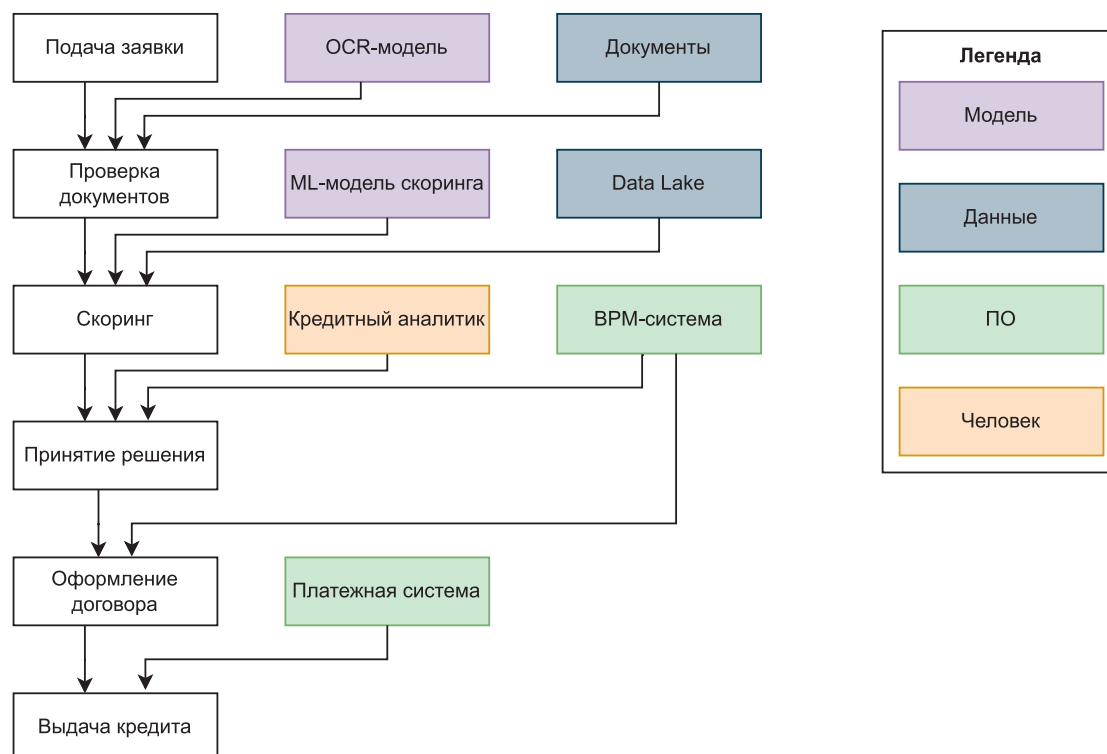


Рис. 3. Пример взаимосвязей между этапами бизнес-процесса и ресурсами для цифровой трансформации
Fig. 3. An example of the interrelationships between business process stages and resources for digital transformation

Заключение

1. Обоснована целесообразность применения процессного подхода в качестве методологической основы цифровой трансформации организаций. На базе анализа современных концепций цифровой трансформации и технологий искусственного интеллекта предложена формализованная стратегия, состоящая из семи этапов: стратегическое планирование, построение карты бизнес-процессов, определение точек трансформации, формирование цифровой архитектуры, подготовка данных и разработка ИИ-решений, их внедрение, а также мониторинг и непрерывная оптимизация. В ее основе лежит процессная модель, которая выступает инструментом выявления «точек» трансформации и адресного внедрения ИИ-решений.

2. Сопоставление этапов бизнес-процессов с типами данных и необходимыми вычислительными ресурсами позволяет обеспечить прозрачность управления и повысить согласованность внедряемых изменений.

3. Практическая значимость исследования заключается в разработке и формализации стратегии цифровой трансформации, которая позволяет снизить риски фрагментарной автоматизации. Процессный подход в сочетании с современными ИИ-технологиями создает основу для эффективной реализации стратегии цифровой трансформации.

Список литературы

1. Как будет формироваться экосистема цифровых решений для населения, бизнеса и государства? [Электронный ресурс] // Государственная программа «Цифровая Беларусь» на 2026–2030 годы. Режим доступа: <http://www.pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2026/january/91833>. Дата доступа: 11.02.2026.
2. Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mpt.gov.by/ru/gosudarstvennaya-programma-cifrovoye-razvitie-belarusi-na-2021-2025-gody-0>. Дата доступа: 11.02.2026.
3. Цифровая Беларусь. Какие задачи планируется решить за следующие пять лет? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/december/91694/>. Дата доступа: 11.02.2026.
4. McKinsey. What's Your Next Brilliant Move? [Electronic resource] / McKinsey. Mode of access: <https://www.mckinsey.com>. Date of access: 11.02.2026.
5. Сибел, Т. М. Цифровая трансформация: как выжить и преуспеть в новую эпоху / Т. М. Сибел; пер. с англ. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020.
6. Digitalization and Business Models: Where Are We Going? A Science Map of the Field / A. Caputo [et al.] // Journal of Business Research. 2021. Vol. 123. P. 489–501. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.09.053.
7. Vial, G. Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda / G. Vial // The Journal of Strategic Information Systems. 2019. Vol. 28, No 2. P. 118–144. DOI: 10.1016/j.jsis.2019.01.003.
8. Morakanyane, R. Conceptualizing Digital Transformation in Business Organizations: A Systematic Review of Literature / R. Morakanyane, A. Grace, P. O'Reilly // Proceedings of the 30th Bled eConference Digital Transformation – From Connecting Things to Transforming Our Lives. Bled, Slovenia: University of Maribor Press., 2017. DOI: 10.18690/978-961-286-043-1.30.
9. Options for Formulating a Digital Transformation Strategy / C. Matt [et al.] // MIS Quarterly Executive. 2016. Vol. 15, No 2.
10. Van Veldhoven, Z. Best Practices for Digital Transformation Based on a Systematic Literature Review / Z. Van Veldhoven, J. Vanthienen // Digital Transformation and Society. 2023. Vol. 2, No 2. P. 104–128. DOI: 10.1108/DTS-11-2022-0057.
11. Diener, F. Digital Transformation in Banking: A Managerial Perspective on Barriers to Change / F. Diener, M. Špaček // Sustainability. 2021. Vol. 13, No 4. DOI: 10.3390/su13042032.
12. Прохоров, А. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров, Л. Коник. М.: КомНьюс Групп, 2019.
13. Three Decades of Formal Methods in Business Process Compliance: A Systematic Literature Review [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.alphaxiv.org/abs/2410.10906>. Date of access: 11.02.2026.
14. A Visual Analysis of the Process of Process Modeling [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.alphaxiv.org/abs/1511.04055>. Date of access: 11.02.2026.
15. Representing, Simulating and Analysing Ho Chi Minh City Tsunami Plan by Means of Process Models [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.alphaxiv.org/abs/1312.4851>. Date of access: 11.02.2026.
16. Business Process Modeling Using a Metamodeling Approach [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.alphaxiv.org/abs/2504.01549>. Date of access: 11.02.2026.

17. Digital Twins of Business Processes: A Research Manifesto [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.alphaxiv.org/abs/2410.08219>. Date of access: 11.02.2026.
18. A Review of AI and Machine Learning Contribution in Predictive Business Process Management (Process Enhancement and Process Improvement Approaches) [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.alphaxiv.org/abs/2407.11043>. Date of access: 11.02.2026.
19. Process Modeling with Large Language Models [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.alphaxiv.org/abs/2403.07541>. Date of access: 11.02.2026.

Поступила 15.04.2026

Принята в печать 03.08.2026

Доступна на сайте 12.10.2026

References

1. *State Program "Digital Belarus" for 2026–2030. How Will the Ecosystem of Digital Solutions for the Population, Business and the State Be Formed?* Available: <http://www.pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2026/january/91833> (Accessed 11 February 2026) (in Russian).
2. *State Program "Digital Development of Belarus" for 2021–2025*. Available: <https://www.mpt.gov.by/ru/gosudarstvennaya-programma-cifrovoe-razvitie-belarusi-na-2021-2025-gody-0> (Accessed 11 February 2026) (in Russian).
3. *Digital Belarus. What Tasks Are Planned to Be Solved in the Next Five Years?* Available: <http://www.pravo.by/novosti/obshchestvenno-politicheskie-i-v-oblasti-prava/2025/december/91694/> (Accessed 11 February 2026) (in Russian).
4. McKinsey (2026) *What's Your Next Brilliant Move?* Available: <https://www.mckinsey.com> (Accessed 11 February 2026).
5. Siebel T. M. (2020) *Digital Transformation: How to Survive and Thrive in a New Era. Transl. from English by A. Lisitsyna*. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber Publ. (in Russian).
6. Caputo A., Pizzi S., Pellegrini M. M., Dabić M. (2021) Digitalization and Business Models: Where Are We Going? A Science Map of the Field. *Journal of Business Research*. 123, 489–501. DOI: 10.1016/j.jbusres.2020.09.053.
7. Vial G. (2019) Understanding Digital Transformation: A Review and a Research Agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*. 28 (2), 118–144. DOI: 10.18690/978-961-286-043-1.30.
8. Morakanyane R., Grace A., O'Reilly P. (2017) Conceptualizing Digital Transformation in Business Organizations: A Systematic Review of Literature. *Proceedings of the 30th Bled eConference Digital Transformation – From Connecting Things to Transforming Our Lives*. Bled, Slovenia, University of Maribor Press. DOI: 10.18690/978-961-286-043-1.30.
9. Matt C., Hess T., Benlian A., Wiesbock F. (2016) Options for Formulating a Digital Transformation Strategy. *MIS Quarterly Executive*. 15 (2).
10. Van Veldhoven Z., Vanthienen J. (2023) Best Practices for Digital Transformation Based on a Systematic Literature Review. *Digital Transformation and Society*. 2 (2), 104–128. DOI: 10.1108/DTS-11-2022-0057.
11. Diener F., Špaček M. (2021) Digital Transformation in Banking: A Managerial Perspective on Barriers to Change. *Sustainability*. 13 (4). DOI: 10.3390/su13042032.
12. Prokhorov A., Konik L. (2019) *Digital Transformation. Analysis, Trends, Global Experience*. Moscow, KomNews Group Publ. (in Russian).
13. *Three Decades of Formal Methods in Business Process Compliance: A Systematic Literature Review*. Available: <https://www.alphaxiv.org/abs/2410.10906> (Accessed 11 February 2026).
14. *A Visual Analysis of the Process of Process Modeling*. Available: <https://www.alphaxiv.org/abs/1511.04055> (Accessed 11 February 2026).
15. *Representing, Simulating and Analysing Ho Chi Minh City Tsunami Plan by Means of Process Models*. Available: <https://www.alphaxiv.org/abs/1312.4851> (Accessed 11 February 2026).
16. *Business Process Modeling Using a Metamodeling Approach*. Available: <https://www.alphaxiv.org/abs/2504.01549> (Accessed 11 February 2026).
17. *Digital Twins of Business Processes: A Research Manifesto*. Available: <https://www.alphaxiv.org/abs/2410.08219> (Accessed 11 February 2026).
18. *A Review of AI and Machine Learning Contribution in Predictive Business Process Management (Process Enhancement and Process Improvement Approaches)*. Available: <https://www.alphaxiv.org/abs/2407.11043> (Accessed 11 February 2026).
19. *Process Modeling with Large Language Models*. Available: <https://www.alphaxiv.org/abs/2403.07541> (Accessed 11 February 2026).

Received: 15 April 2026

Accepted: 3 August 2026

Available on the website: 12 October 2026

Вклад авторов

Борисевич А. В. сформулировал научную задачу и разработал концептуальные основы исследования, обосновал выбор процессного подхода в качестве методологической базы, сформировал общую семи-этапную стратегию цифровой трансформации организации и определил принципы интеграции процессной модели с современными IT-инструментами.

Борисевич С. А. провел анализ существующих методов процессного моделирования, разработал подход к построению карты бизнес-процессов и выявлению «точек» трансформации, осуществил классификацию потенциала автоматизации этапов процессов, выполнил сопоставление процессных контуров с необходимыми вычислительными и программными ресурсами.

Лукашевич М. М. разработала методологию применения технологий машинного и глубокого обучения в рамках процессной модели, систематизировала архитектуры ИИ-решений в разрезе типов данных, описала конвейер разработки, валидации и мониторинга моделей, подготовила обзор современных подходов к обработке данных с учетом регуляторных и этических аспектов.

Authors' contribution

Borisevich A. formulated the research problem and developed the conceptual framework of the study, substantiated the choice of the process-based approach as the methodological foundation, designed the general seven-stage strategy for organizational digital transformation, and defined the principles for integrating the process model with modern IT tools.

Borisevich S. conducted an analysis of existing process modeling methods, developed an approach for constructing business process maps and identifying transformation “points”, performed classification of automation potential for process stages, and carried out mapping of process contours to required computational and software resources.

Lukashevich M. developed the methodology for applying machine learning and deep learning technologies within the process model framework, systematized AI solution architectures by data type, described the pipeline for model development, validation, and monitoring, and prepared a review of modern data processing approaches considering regulatory and ethical aspects.

Сведения об авторах

Борисевич А. В., канд. экон. наук, зам. Председателя Правления ОАО «Банк БелВЭБ»

Борисевич С. А., бакалавр экономики и бизнеса, ООО «ВЭБ Технологии»

Лукашевич М. М., канд. техн. наук, доц. каф. информационных систем управления, Белорусский государственный университет

Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,
Минск, просп. Независимости, 4
Белорусский государственный университет
Тел.: +375 29 709-06-08
E-mail: lukashevichmm@bsu.by
Лукашевич Марина Михайловна

Information about the authors

Borisevich A., Cand. Sci. (Econ.), Deputy Chairman of the Management Board of OJSC “Bank BelVEB”

Borisevich S., Bachelor of Economics and Business, VEB Technologies LLC

Lukashevich M., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor at the Department of Management Information Systems, Belarusian State University

Address for correspondence

220030, Republic of Belarus,
Minsk, Nezavisimosty Ave., 4
Belarusian State University
Tel.: +375 29 709-06-08
E-mail: lukashevichmm@bsu.by
Lukashevich Marina



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-62-70>

УДК 658.562:004.9

АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

М. Р. ТИХОНОВ

Национальный исследовательский университет «МИЭТ» (Москва, Российская Федерация)

Аннотация. В условиях цифровой трансформации промышленности управление качеством сталкивается с необходимостью пересмотра традиционных подходов, основанных на выборочном контроле и статистических методах, в пользу проактивных и предиктивных моделей, интегрированных в цифровую среду предприятия. Однако в литературе отсутствует системный анализ процессов управления качеством с точки зрения их пригодности к цифровой трансформации, что затрудняет выбор эффективных стратегий внедрения интеллектуальных инструментов. Научная новизна исследования заключается в систематизации основных процессов управления качеством, идентификации ключевых барьеров, препятствующих цифровизации, и определении факторов, влияющих на пригодность процессов к автоматизации. Особый интерес представляет анализ влияния человеческого фактора, проблем интеграции разнородных информационных систем и ограничений, связанных с формализацией аналитических процессов, на эффективность цифровой трансформации. Аргументы автора склоняются в пользу системного подхода к цифровизации, предполагающего предварительный анализ и корректировку существующих процессов, поэтапное внедрение с акцентом на управленческие процессы, а также развитие компетенций персонала как необходимого условия успеха. Полученные результаты могут быть использованы руководителями и специалистами по качеству при планировании проектов цифровой трансформации на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: цифровая трансформация, управление качеством, процессы управления качеством, цифровизация, человеческий фактор, интеграция информационных систем, интеллектуальные системы, промышленные предприятия, статистическое управление процессами, индексы воспроизводимости.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Тихонов, М. Р. Анализ цифровой трансформации процессов управления качеством / М. Р. Тихонов // Цифровая трансформация. 2026. Т. 32, № 3. С. 62–70. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-62-70>.

ANALYSIS OF DIGITAL TRANSFORMATION OF QUALITY MANAGEMENT PROCESSES

MARTIN TIKHONOV

National Research University of Electronic Technology (Moscow, Russian Federation)

Abstract. In the context of the digital transformation of industry, quality management is faced with the need to revise traditional approaches based on sampling and statistical methods in favor of proactive and predictive models integrated into the enterprise's digital environment. However, the literature lacks a systematic analysis of quality management processes in terms of their suitability for digital transformation, which complicates the selection of effective strategies for implementing intelligent tools. The scientific novelty of this study lies in the systematization of key quality management processes, the identification of key barriers hindering digitalization, and the determination of factors influencing the suitability of processes for automation. Of particular interest is the analysis of the influence of the human factor, problems of integrating heterogeneous information systems, and limitations associated with the formalization of analytical processes on the effectiveness of digital transformation. The author's arguments favor a systems approach to digitalization, which involves preliminary analysis and adjustment of existing processes, phased implementation with an emphasis on management processes, and the development of personnel

competencies as a prerequisite for success. The obtained results can be used by managers and quality specialists when planning digital transformation projects at industrial enterprises.

Keywords: digital transformation, quality management, quality management processes, digitalization, human factors, information systems integration, intelligent systems, industrial enterprises, statistical process control, reproducibility indices.

Conflict of interests. The author declares that there is no conflict of interests.

For citation. Tikhonov M. (2026) Analysis of Digital Transformation of Quality Management Processes. *Digital Transformation*. 32 (3), 62–70. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2026-32-3-62-70> (in Russian).

Введение

В условиях перехода к «Индустрии 4.0» управление качеством все чаще рассматривается не как изолированная функция контроля, а как сквозной процесс, интегрированный в цифровую среду предприятия [1, 2]. Традиционные подходы, основанные на выборочном контроле и статистическом управлении процессами, демонстрируют ограниченную эффективность при работе с высокоскоростными и многономенклатурными производствами, где время принятия решений критично, а объемы данных превышают возможности человеческого анализа. Цифровая трансформация в этой области предполагает переход от реактивных моделей («обнаружил дефект – исправил») к проактивным и предиктивным, базирующимся на непрерывном мониторинге параметров оборудования и продукции, а также применении методов машинного обучения и нечеткой логики.

Предметом настоящего исследования выступают процессы управления качеством в дискретных производствах, в частности этапы проектирования, входного контроля материалов, операционного контроля и анализа результативности процессов. Цель – в систематизации и анализе процессов управления качеством с точки зрения их пригодности к цифровой трансформации, в выявлении ключевых барьеров, препятствующих внедрению цифровых инструментов, и определении возможных эффектов от такой трансформации. Гипотеза исследования состоит в том, что системный анализ процессов управления качеством позволяет выявить факторы, определяющие потенциал процессов к цифровизации, определить наиболее эффективные направления внедрения интеллектуальных инструментов и сформулировать практические рекомендации по выбору стратегии цифровой трансформации.

Актуальность работы обусловлена как промышленными запросами на сокращение потерь от несоответствий, так и недостаточной проработанностью методических подходов к интеграции интеллектуальных систем в существующие QMS-решения [3, 4]. В литературе широко представлены отдельные аспекты цифровизации качества – от применения контрольных карт Шухарта до использования нейросетей для классификации дефектов [5, 6]. Однако комплексные аналитические модели, позволяющие оценить готовность различных процессов к цифровой трансформации и систематизировать сопутствующие риски, остаются малоизученными.

В статье предложен структурированный взгляд на процессы, поддающиеся цифровой трансформации, на проблематику их внедрения и последствия такой трансформации для операционной эффективности. Рассмотрены основные процессы управления качеством, идентифицированы ключевые проблемы, присущие современным системам менеджмента качества, определены факторы, влияющие на выбор стратегии цифровизации процессов, а также проанализированы возможные эффекты от ее внедрения – как количественные, так и качественные. На основе проведенного анализа сформулированы практические рекомендации для организаций, приступающих к цифровой трансформации управления качеством.

Анализ проблематики в процессах управления качеством

Прежде чем перейти к рассмотрению возможностей цифровой трансформации, необходимо идентифицировать ключевые проблемы, присущие современным системам менеджмента качества на промышленных предприятиях. Анализ практики управления качеством показывает, что эффективность традиционных подходов ограничивается рядом системных факторов, которые не могут быть устранены исключительно за счет внедрения электронного документооборота или автоматизации учета.

Одной из центральных проблем остается человеческий фактор, проявляющийся в нескольких аспектах [7, 8]. Во-первых, любое изменение устоявшихся процедур встречает сопротивление со стороны персонала, что особенно остро проявляется при попытках внедрения цифровых инструментов в среде, где десятилетиями формировались «неписанные» правила и неформальные практики контроля. Даже при наличии систем электронного документооборота, которые сами по себе не являются новой концепцией, переход к полностью цифровому управлению качеством наталкивается на психологический барьер – операторы и мастера воспринимают новые интерфейсы и алгоритмы как угрозу привычной логике работы.

Во-вторых, цифровая трансформация процессов нередко сдерживается дефицитом необходимых компетенций. Не все сотрудники обладают уверенными навыками работы с персональным компьютером, не говоря уже о знании специфики конкретного программного обеспечения, предназначенного для статистического анализа данных или управления инцидентами качества. Это приводит к ситуации, когда даже при наличии развитого инструментария его функциональные возможности используются не в полной мере, а принятие решений остается в зоне субъективных экспертных оценок.

Важно отметить, что не все процессы в равной степени поддаются цифровизации. Особую группу составляют аналитические процессы, в том числе интерпретация контрольных карт Шухарта и индексов воспроизводимости. Формальный расчет данных показателей при наличии автоматизированных систем не представляет сложности и может быть выполнен с высокой точностью, исключая ошибки, связанные с человеческим фактором на этапе вычислений. Однако содержательная интерпретация полученных результатов требует глубокого знания не только статистических методов, но и специфики технологического процесса, организации производства, влияния внешней среды. Такие знания носят контекстный характер и не могут быть полностью формализованы.

В этой связи принципиальным является вопрос о границах цифровизации в управлении качеством. Цифровые системы и искусственный интеллект [9, 10] способны выявлять скрытые связи между элементами процесса, однако управление качеством предполагает изначальное знание об объекте управления – его структуре, поведении, критических точках. Это означает, что ИИ-решения в данной области в первую очередь выступают в роли вспомогательных инструментов, а не замены человека. Ответственность за принятие решений, особенно в нештатных ситуациях, остается за оператором или инженером по качеству, поскольку системы не могут нести ответственность за последствия своих рекомендаций. Таким образом, ключевая задача цифровой трансформации заключается не в автоматизации принятия решений, а в формировании обоснованных рекомендаций, снижающих когнитивную нагрузку на человека и позволяющих ему сосредоточиться на наиболее сложных аспектах анализа.

Другой значимой проблемой является интеграция разрозненных информационных систем. На многих предприятиях одновременно функционируют ERP-системы (учет и планирование), MES-системы (исполнение на уровне цеха), SCADA-системы (сбор данных с датчиков) и специализированные модули контроля качества, зачастую представленные отдельными файлами в формате электронных таблиц [11, 12]. Такое разнообразие инструментов создает предпосылки для ошибок при переносе данных между системами – как ручных, так и автоматизированных. Более того, работа в нескольких системах требует от сотрудника знания интерфейсов и логики каждой из них, что увеличивает объем «лишней» для его непосредственных задач информации, которую он вынужден удерживать в памяти.

Особую остроту приобретает проблема дублирования данных и связанная с ней версионность. Одна и та же информация о параметрах продукции или характеристиках процесса может храниться в различных системах, и вопрос актуальности данных в каждом из мест становится критическим. При отсутствии настроенной синхронизации возникают ситуации, когда в одной системе информация обновлена, а в другой – устарела, что создает риски принятия неверных решений. Прослеживаемость изменений, их авторство и время внесения также затрудняются при множестве источников данных, что противоречит базовым принципам управления качеством.

Наконец, необходимо отметить проблему выявления и анализа скрытых дефектов. Потери результирующего качества продукции в значительной степени связаны с дефектами элементов,

которые не проявляются на ранних этапах производственного цикла, а обнаруживаются только на финальных стадиях контроля или в процессе эксплуатации. Прогнозирование таких отказов – нетривиальная задача, поскольку требует анализа совокупности косвенных признаков, часто распределенных во времени и пространстве. Именно здесь цифровая трансформация может предложить наиболее перспективные решения – за счет применения методов нечеткой логики, машинного обучения и многомерного статистического анализа. Однако реализация таких систем сталкивается с необходимостью формализации экспертных знаний, установления корректных диапазонов отнесения для входных параметров и разработки механизмов формирования рекомендаций, что требует отдельной методической проработки.

Таким образом, анализ проблематики показывает, что ключевыми барьерами на пути цифровой трансформации управления качеством являются человеческий фактор, ограниченная формализуемость аналитических процессов, сложность интеграции разнородных систем и недостаточная развитость методов прогнозирования скрытых дефектов. Преодоление данных барьеров требует системного подхода, совмещающего математическое моделирование, экспертные знания и продуманную архитектуру цифровых инструментов.

Анализ процессов управления качеством

Переход от идентификации проблем к определению направлений цифровой трансформации требует системного анализа процессов управления качеством с точки зрения их пригодности к автоматизации, степени формализуемости и допустимой глубины цифрового вмешательства. Рассмотрим основные группы процессов, оценим потенциал их цифровизации и сформулируем рекомендации по выбору стратегии внедрения.

Процессы управления качеством, как и любые управленческие процессы, характеризуются формализацией с точки зрения входов, выходов, ресурсов и управляющих воздействий. Это свойство делает их в той или иной степени пригодными к цифровизации, однако глубина и масштаб автоматизации могут существенно варьироваться в зависимости от уровня управления и специфики конкретных задач.

Выбор последовательности цифровизации в значительной степени зависит от области деятельности организации и ее текущего уровня зрелости в управлении качеством. Возможны два основных подхода. Первый предполагает системное внедрение комплексных решений, охватывающих все уровни управления – от стратегического до операционного. Такой подход требует значительных инвестиций, однако обеспечивает целостность информационной среды и минимизирует проблемы интеграции в будущем. Глобальные системы управления качеством, содержащие типовые процессы и методы с возможностью их настройки под специфику предприятия, позволяют покрыть все функциональные области единым решением.

Второй подход заключается в последовательном внедрении прикладных решений для отдельных процессов или операций. Движение от нижних уровней (операционный контроль) к верхним (стратегическое планирование) в этом случае является оправданным, поскольку позволяет поэтапно оценивать эффективность цифровых инструментов и адаптировать их к реальным условиям. Однако данный путь сопряжен с риском возникновения множества разнородных систем, проблемы интеграции и взаимодействия которых могут нивелировать ожидаемые эффекты от автоматизации. Таким образом, ключевым фактором успеха выступает системность подхода: при отсутствии возможности полной цифровизации следует стремиться к унификации интерфейсов и протоколов обмена данными между внедряемыми решениями.

Процессы управления качеством охватывают все этапы жизненного цикла продукции, и каждый из них обладает своим потенциалом для цифровизации: проектирование и разработка формализованы и поддерживаются инструментами, но полная автоматизация планирования и решений здесь затруднена вопросами ответственности, тогда как закупки и взаимодействие с поставщиками, напротив, имеют давно проработанные цифровые интерфейсы (от электронного обмена до оценки на основе статистики), где цифровизация дает измеримые результаты без значительных рисков; наиболее благодатными областями остаются производство и операционный контроль, где внедрение систем сбора данных в реальном времени позволяет перейти к непрерывному мониторингу, и на операционном уровне система способна самостоятельно кор-

ректировать управляющее воздействие для возврата показателей в допустимые границы, если это физически допускается процессом (но при этом важно различать такие автономные сценарии и процессы, где участие человека обязательно); верификация и валидация также автоматизируются в части сбора результатов и статистической обработки, однако интерпретация и решения о судьбе продукции остаются за человеком, равно как и стратегические выводы из обратной связи от потребителей.

Центральным элементом, соединяющим цифровые инструменты и человека, принимающего решения, является подсистема рекомендаций. Ценность таких рекомендаций наиболее высока на тех этапах управления, где необходимо принимать решения в условиях неопределенности – преимущественно на стратегическом и тактическом уровнях. На стратегическом уровне рекомендации могут касаться пересмотра политики в области качества, корректировки целей, изменения подходов к управлению рисками, на тактическом – оптимизации допусков, пересмотра периодичности контроля, корректировки планов выборочного контроля. На операционном уровне, как уже отмечалось, возможно полное исключение человека из контура управления при условии надежности системы и допустимости автоматического воздействия на процесс.

Важно подчеркнуть, что рекомендации не должны подменять собой экспертизу, а призваны снижать когнитивную нагрузку на оператора и лиц, принимающих решения, предоставляя им структурированную и релевантную информацию. Формирование рекомендаций на основе нечеткого вывода и индикаторных показателей процессов позволяет учитывать не только числовые значения параметров, но и степень их отклонения от целевых значений, а также динамику изменения показателей во времени.

Вопрос о границах применения искусственного интеллекта в управлении качеством требует отдельного рассмотрения. Искусственный интеллект может и должен применяться в следующих областях: замена или, что более предпочтительно, дополнение эксперта-человека для сбора и первичной обработки информации; поиск дефектов с помощью распознавания образов (например, при визуальном контроле); первичная обработка и распределение заявок в пределах, допустимых для источника заявок; формирование рекомендаций на основе анализа совокупности параметров.

Однако следует отдавать себе отчет в особенностях природы искусственного интеллекта, в частности в вероятностном характере получаемых результатов. Это накладывает ограничения на его применение в областях, где недопустима передача юридической ответственности. Невозможно в судебном порядке сослаться на то, что «система выдала такой результат, следовательно, организация не несет ответственности». В этой связи полная цифровизация с использованием искусственного интеллекта недопустима там, где речь идет о решениях, влекущих юридические или финансовые последствия для организации или третьих лиц.

Конкретные границы применения искусственного интеллекта зависят от ряда факторов: уровня доверия к системе со стороны руководства и персонала, оценки возможных последствий ошибочных решений и готовности организации принимать риски, связанные с автоматизацией. В процессах управления качеством такая «красная линия» проходит в первую очередь через этапы принятия окончательных решений о соответствии продукции, об изменении технологических режимов с критическими последствиями и о распределении ресурсов.

Цифровая трансформация процессов управления качеством приносит пользу с различных сторон, и эти эффекты могут быть как количественно измеримыми, так и качественными. К измеримым эффектам относятся:

- ускорение процессов сбора, обработки и анализа данных, что сокращает время реакции на отклонения и предотвращает развитие дефектов;
- снижение доли ручного труда при расчетах статистических показателей, что минимизирует риск ошибок, связанных с человеческим фактором;
- системное хранение знаний организации и данных о процессах и продукции, обеспечивающее возможность поиска, сортировки и ранжирования информации, в том числе в реальном времени;
- исключение ряда процессов, прежде всего связанных с передачей информации и ее формализацией в виде отчетов, что сокращает непроизводительные затраты времени.

Все перечисленные эффекты вполне измеримы во временных показателях, что позволяет оценивать экономический эффект через человеко-часы и соответствующие ставки оплаты труда.

К качественным эффектам, которые сложнее измерить, но они не менее важны, относятся:

- повышение прослеживаемости изменений и решений, что способствует формированию культуры качества, основанной на фактах, а не на интуиции;
- снижение зависимости от субъективных экспертных оценок и опыта отдельных сотрудников, что делает систему управления качеством более устойчивой к кадровым изменениям;
- формирование единой информационной среды, способствующей более эффективному взаимодействию между подразделениями.

При этом важно подчеркнуть, что ускорение неправильных процессов приведет к быстрым неправильным результатам. В связи с этим цифровизация должна предваряться анализом и корректировкой существующих процессов, а не просто переносом их в цифровую среду.

Результаты исследований и рекомендации

На основе проведенного анализа могут быть сформулированы следующие практические рекомендации для организаций, приступающих к цифровой трансформации управления качеством:

- перед внедрением цифровых инструментов необходимо провести анализ существующих процессов на предмет их корректности и эффективности. Цифровизация не должна закреплять неоптимальные практики;
- провести работу с сотрудниками организации, обеспечив их подготовку к предстоящим изменениям. Сопротивление персонала и недостаток компетенций могут свести на нет преимущества даже самых совершенных систем;
- подготовиться к возможному увеличению оборачиваемости активов организации и, как следствие, росту объемов производства за счет оптимизации управленческих процессов. Цифровизация должна рассматриваться не как самоцель, а как инструмент повышения конкурентоспособности;
- сделать акцент в первую очередь на управленческие процессы, поскольку в них сосредоточено большее число информационных интерфейсов, что делает их более простыми для цифровизации по сравнению с физическими технологическими процессами;
- в ходе внедрения систематически отслеживать потоки информации, выявлять случаи дублирования и пересечения, минимизировать необоснованное накопление данных, не используемых для принятия решений.

Перечисленные рекомендации носят универсальный характер и могут быть адаптированы под специфику любой организации, независимо от отрасли и масштаба деятельности. Выбор конкретных инструментов и последовательности внедрения должен определяться на основе детального анализа текущего состояния системы менеджмента качества и стратегических целей организации. Так, для организаций по производству изделий микроэлектроники, характеризующемуся многостадийностью технологических маршрутов и критической зависимостью выхода годных изделий от стабильности параметров на каждом этапе, положения сформулированных выше рекомендаций приобретают следующее конкретное наполнение:

- провести углубленную статистическую оценку воспроизводимости каждого технологического этапа микронэлектронного производства на основе индексов воспроизводимости процессов за ретроспективный период не менее шести месяцев, что позволит выявить скрытые систематические смещения параметров (например, неравномерность толщины фоторезиста или дрейф температуры в диффузионных печах);
- организовать для инженеров-технологов и операторов контрольно-измерительных станций специализированные семинары и практические занятия по интерпретации выходных сигналов экспертной системы, включая освоение методик определения степени отнесения значений критических параметров (критической дозы экспозиции, неравномерности плазмохимического травления, профилей легирования после ионной имплантации) к соответствующим термам функций принадлежности;
- заблаговременно провести модернизацию вычислительной инфраструктуры предприятия с целью обеспечения возможности обработки экспоненциально возрастающих массивов данных по мере увеличения количества контролируемых пластин в партии, включая оптимизацию алгоритмов нечеткого вывода для сохранения приемлемого времени формирования итоговой оценки

вероятности отказа без снижения точности расчетов при переходе от опытного к серийному производству;

– внедрить автоматизированную систему сбора и первичной верификации данных непосредственно с измерительного оборудования, что позволит без вмешательства в физическую суть технологических операций обеспечить наиболее быстрый и ощутимый эффект от апробации разработанной математической модели на управленческом уровне, а также сократить влияние человеческого фактора на этапе ввода исходных параметров, являющегося одной из основных причин искажения входных данных экспертной системы;

– создать единое централизованное хранилище данных с модулем предварительной нормализации входных параметров, обеспечив унификацию форматов, дискретности измерений и временных меток для всех контрольно-измерительных операций, что позволит избежать ситуаций, когда данные о параметрах одного и того же слоя (например, толщины оксидного слоя) или этапа, зафиксированные на различных станциях с разной периодичностью и в различных форматах, приводят к противоречивым значениям индексов воспроизводимости процессов, неоднозначности активации нечетких правил и, как следствие, к формированию недостоверной итоговой оценки вероятности отказа, сводящей на нет все преимущества интеллектуального подхода к прогнозированию предвестников отказов.

Заключение

1. Рассмотрены проблематика современных систем управления качеством, потенциал цифровой трансформации основных процессов и возможные эффекты от внедрения интеллектуальных инструментов в контур управления. Анализ показал, что ключевыми барьерами на пути цифровизации управления качеством являются человеческий фактор, ограниченная формализуемость аналитических процессов, сложность интеграции разнородных информационных систем и недостаточная развитость методов прогнозирования скрытых дефектов. Преодоление данных барьеров требует системного подхода, совмещающего формализацию процессов, развитие компетенций персонала и продуманную архитектуру цифровых инструментов.

2. Определено, что процессы управления качеством обладают различным потенциалом для цифровой трансформации. Наиболее благоприятной областью является операционный контроль, где автоматизация сбора и обработки данных позволяет перейти от периодического выборочного контроля к непрерывному мониторингу. На стратегическом и тактическом уровнях цифровые инструменты должны выполнять вспомогательную функцию, формируя обоснованные рекомендации, но не подменяя экспертизу и ответственность человека. Особое внимание уделено границам применения искусственного интеллекта: системы могут эффективно использоваться для сбора и первичной обработки информации, поиска дефектов и формирования рекомендаций, однако недопустима передача юридической ответственности алгоритмам в областях, где решения влекут существенные последствия для организации или третьих лиц.

3. Установлено, что эффекты от цифровой трансформации могут быть как измеримыми (сокращение времени обработки данных, снижение доли ручного труда, уменьшение ошибок расчетов), так и качественными (повышение прослеживаемости, снижение зависимости от субъективных оценок, формирование единой информационной среды). При этом цифровизация должна предваряться анализом и корректировкой существующих процессов, чтобы избежать автоматизации неэффективных практик.

4. Практическая значимость исследования заключается в формировании структурированного подхода к выбору процессов для цифровой трансформации, определении факторов, влияющих на глубину автоматизации, и в разработке рекомендаций по внедрению. Предложенные положения могут быть использованы руководителями и специалистами по качеству при планировании и реализации проектов цифровизации на промышленных предприятиях. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка методик оценки эффективности цифровых решений в управлении качеством, изучение подходов к интеграции интеллектуальных систем с существующими QMS-решениями, а также адаптация предлагаемых подходов к специфике различных отраслей промышленности.

Список литературы

1. Мугутдинов, Р. М. Системный анализ взаимосоответствия свойств цифрового предприятия и предприятий-комплементоров в рамках информационной среды / Р. М. Мугутдинов // Экономические науки. 2021. № 200. С. 82–92. DOI: 10.14451/1.200.82.
2. Никитина, Н. В. Трансформация проектно-процессного управления промышленными предприятиями в условиях цифровой среды / Н. В. Никитина, Д. Ю. Скачков, А. С. Колупаев // Креативная экономика. 2023. Т. 17, № 11. С. 4101–4112. DOI: 10.18334/ce.17.11.119506.
3. Бобровский, С. М. Разработка структуры процессов системы управления качеством предприятия совместно с системой информационной поддержки процессов управления качеством / С. М. Бобровский // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2025. Т. 27, № 4. С. 13–19. DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-13-19.
4. Родионов, А. В. Применение информационных систем в процессах обеспечения качества управления организациями / А. В. Родионов // Новое в экономической кибернетике. 2022. № 2. С. 42–49.
5. Суслов, Е. П. Гибридная модель прогнозирования отказов видеоплатформ на основе статистических методов и нейросетевых моделей: обзор подходов / Е. П. Суслов // Индустриальная экономика. 2026. № 3. С. 171–175. DOI: 10.47576/2949-1886.2026.3.3.022.
6. Сигитов, А. А. Современное состояние и перспективы развития систем предиктивной аналитики в области строительства / А. А. Сигитов // Строительство и архитектура. 2023. Т. 11, № 4. DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-30-30.
7. Подвербных, О. Е. Реализация проектов цифровизации управления человеческими ресурсами промышленных предприятий: факторы кадровых рисков / О. Е. Подвербных, Е. Л. Соколова, С. М. Самохвалова // Креативная экономика. 2024. Т. 18, № 12. С. 3613–3632. DOI: 10.18334/ce.18.12.122363.
8. Захаров, А. Ю. Человеческий фактор в цифровизации: как вовлечь сотрудников / А. Ю. Захаров, Д. Г. Мюллер // Научный Лидер. 2025. № 7. С. 166–168.
9. Метревели, И. С. Обзор современного уровня применения российских цифровых систем управления качеством с использованием возможностей искусственного интеллекта / И. С. Метревели // Петербургский экономический журнал. 2025. № 2. С. 18–31. DOI: 10.32603/2307-5368-2025-2-18-31.
10. Юсупова, Д. М. Аспекты внедрения искусственного интеллекта в цифровую трансформацию экономики и в системы электронного правительства / Д. М. Юсупова // Экономика и социум. 2023. № 4–2. С. 801–815.
11. Верецагин, И. А. Применение искусственного интеллекта в системах SCADA, MES и ERP / И. А. Верецагин // Современные достижения научно-технического прогресса. 2026. № 2. С. 51–53.
12. Кужанбаев, Р. Т. Современные и перспективные методы диспетчеризации на производстве. Опыт и проблемы внедрения и применения ERP, MES, SCADA и CSRP систем на российских предприятиях / Р. Т. Кужанбаев // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 47. С. 1979–1988.

Поступила 23.06.2026

Принята в печать 28.07.2026

Доступна на сайте 12.10.2026

References

1. Mugutdinov R. M. (2021) System Analysis of Mutual Compliance of the Properties of a Digital Enterprise and Complementary Enterprises Within the Information Environment. *Economic Sciences*. (200), 82–92. DOI: 10.14451/1.200.82 (in Russian).
2. Nikitina N. V., Skachkov D. Yu., Kolupaev A. S. (2023) Transformation of Project-Process Management of Industrial Enterprises in the Digital Environment. *Creative Economy*. 17 (11), 4101–4112. DOI: 10.18334/ce.17.11.119506 (in Russian).
3. Bobrovskiy S. M. (2025) Development of the Structure of the Enterprise Quality Management System Processes Together with the Quality Management Processes Information Support System. *News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 27 (4), 13–19. DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-4-13-19 (in Russian).
4. Rodionov A. V. (2022) Application of Information Systems in the Processes of Quality Assurance of Organization Management. *New in Economic Cybernetics*. (2), 42–49 (in Russian).
5. Suslov E. P. (2026) Hybrid Model for Predicting Failures of Video Platforms Based on Statistical Methods and Neural Network Models: A Review of Approaches. *Industrial Economics*. (3), 171–175. DOI: 10.47576/2949-1886.2026.3.3.022 (in Russian).
6. Sigitov A. A. (2023) Current State and Prospects for the Development of Predictive Analytics Systems in the Field of Construction. *Construction and Architecture*. 11 (4). DOI: 10.29039/2308-0191-2023-11-4-30-30 (in Russian).

7. Podverbnykh O. E., Sokolova E. L., Samokhvalova S. M. (2024) Implementation of Projects for Digitalization of Human Resource Management of Industrial Enterprises: Factors of Personnel Risks. *Creative Economy*. 18 (12), 3613–3632. DOI: 10.18334/ce.18.12.122363 (in Russian).
8. Zakharov A. Yu., Myuller D. G. (2025) Human Factor in Digitalization: How to Engage Employees. *Scientific Leader*. (7), 166–168 (in Russian).
9. Metreveli I. S. (2025) Review of the Current Level of Application of Russian Digital Quality Management Systems Using Artificial Intelligence Capabilities. *St. Petersburg Economic Journal*. (2), 18–31. DOI: 10.32603/2307-5368-2025-2-18-31 (in Russian).
10. Yusupova D. M. (2023) Aspects of the Introduction of Artificial Intelligence into the Digital Transformation of the Economy and into E-Government Systems. *Economy and Society*. (4–2), 801–815 (in Russian).
11. Vereshchagin I. A. (2026) Application of Artificial Intelligence in SCADA, MES and ERP Systems. *Modern Achievements of Scientific and Technological Progress*. (2), 51–53 (in Russian).
12. Kuzhanbaev R. T. (2021) Modern and Promising Methods of Dispatching in Production. Experience and Problems of Implementation and Application of ERP, MES, SCADA and CSRP Systems at Russian Enterprises. *Innovation. Science. Education*. (47), 1979–1988 (in Russian).

Received: 23 June 2026

Accepted: 28 July 2026

Available on the website: 12 October 2026

Сведения об авторе

Тихонов М. Р., канд. техн. наук, доц., доц. Института системной и программной инженерии и информационных технологий, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Адрес для корреспонденции

124498, Российская Федерация,
Москва, Зеленоград, площ. Шокина, 1
Национальный исследовательский
университет «МИЭТ»
Тел.: +7 903 733-79-34
E-mail: kurotenshi91@yandex.ru
Тихонов Мартин Робертович

Information about the author

Tikhonov M., Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor at the Institute of Systems and Software Engineering and Information Technology, National Research University of Electronic Technology

Address for correspondence

124498, Russian Federation,
Moscow, Zelenograd, Shokina Sq., 1
National Research University
of Electronic Technology
Tel.: +7 903 733-79-34
E-mail: kurotenshi91@yandex.ru
Tikhonov Martin

ПРИМЕРЫ ОФОРМЛЕНИЯ РАЗДЕЛА «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ»

В помощь авторам при формировании литературных источников в разделе «Список литературы» предлагаем несколько примеров их оформления согласно Приложению 2 к Инструкции по оформлению диссертации, автореферата и публикаций по теме диссертации (ВАК) (тире, указанные в таблице Приложения 2 для оформления источников, не ставим).

1. Теория кодирования / Т. Касами [и др.]; пер. с япон. А. В. Кузнецова. М.: Мир, 2006.
2. Галкин, Я. Д. Улучшенная модель двухзатворного JFET для аналоговых интегральных микросхем / Я. Д. Галкин, О. В. Дворников, В. А. Чеховский // Доклады БГУИР. 2022. Т. 20, № 3. С. 20–25. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-3-20-25>.
3. Hacker, P. S. Range Distance Requirement for Measuring Low and Ultralow Sidelobe Antenna Patterns / P. S. Hacker, H. E. Schrank // IEEE Trans. Antennas and Propagation Magazine. 1982. Vol. AP-30, No 5. P. 956–966.
4. Авиационные правила организации и проведения летной проверки средств радиолокации, средств связи и радиотехнического обеспечения полетов государственной авиации Республики Беларусь: пост. Мин-ва обороны Респ. Беларусь от 14.04.2017 № 7.
5. Respiration Rate and Volume Measurements Using Wearable Strain Sensors / M. Chu [et al.] // npj. Digital Medicine. 2019. No 2. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0083-3>.
6. Устройство для измерения активной и емкостной составляющих импеданса биологических тканей: пат. 2196504 Рос. Федерации, МПК А 61 В 5/053 / А. В. Ефремов, Р. Р. Ибрагимов, Р. А. Манвелиадзе, В. Т. Леонтьев, К. Г. Булатецкий, Г. Г. Колонда, Е. В. Тарасов, Р. Ш. Ибрагимов; Новосиб. гос. мед. акад., № 2000117324/14. Заявл. 28.06.2000. Оpubл. 20.01.2003.
7. Программная модель системы для анализа импедансометрических характеристик биологических жидкостей / К. Е. Мешкова [и др.] // Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сб. науч. ст. XIII Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 8–9 декабря 2022 г. Минск: Белор. гос. ун-т информ. и радиоэлек., 2022. С. 93–97.
8. Измеритель иммитанса E7-20 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mnipi.ru/products.php?group=6&device=0>. Дата доступа: 07.05.2023.

Оформление не попавших в перечисленные выше примеры литературных источников смотрите в таблице Приложения 2 указанной инструкции.

При оформлении раздела **REFERENCES** в цитируемой публикации следует указывать ВСЕХ авторов (если их более 6-ти, то после 6-го ставить et al. – см. пример под цифрами 5, 6).

1. Kasami T., Tokura N., Iwadari E., Inagaki Ya. (2006) *Coding Theory*. Transl. from Japan by A.V. Kuznetsov. Moscow, Mir Publ. (in Russian).
2. Galkin Y. D., Dvornikov O. V., Tchekhovski V. A. (2022) Double Gate JFET Improved Model for Analog Integrated Circuits. *Doklady BGUIR*. 20 (3), 20–25. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-3-20-25> (in Russian).
3. Hacker P. S., Schrank H. E. (1982) Range Distance Requirement for Measuring Low and Ultralow Sidelobe Antenna Patterns. *IEEE Trans. Antennas and Propagation Magazine*. AP-30 (5), 956–966.
4. Equipment and Radio Technical Support for State Aviation Flights of the Republic of Belarus. *Resolution of the Ministry of Defense of the Republic of Belarus, Apr. 14 2017, No 7* (in Russian).
5. Chu M., Nguyen T., Pandey V., Zhou Y., Hoang N. Pham, Bar-Yoseph R., et al. (2019) Respiration Rate and Volume Measurements Using Wearable Strain Sensors. *npj Digital Medicine*. (2). <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0083-3>.
6. Efremov A. V., Ibragimov R. R., Manveliadze R. A., Leontiev V. T., Bulatetsky K. G., Kolonda G. G., et al. (2003) Device for Measuring the Active and Capacitive Components of the Impedance of Biological Tissues. *Patent 2196504 Ros. Federation, IPC A 61 B 5/053. Novosibirsk State Medical Academy, No 2000117324/14. Stated 28.06.2000. Publ. 20.01.2003* (in Russian).
7. Meshkova K. E., Patseev S. V., Davydov M. V., Saveyko A. R., Pashkilevich V. V. (2022) A Software Model of a System for Analyzing the Impedance Characteristics of Biological Fluids. *Medelectronics–2022. Medical Electronics and New Medical Technologies, Collection of Scientific Articles of the XIII International Scientific and Technical Conference, Minsk, Dec. 8–9. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics*. 93–97 (in Russian).
8. *Immittance Meter E7-20*. Available: <https://www.mnipi.ru/products.php?group=6&device=0> (Accessed 7 May 2023) (in Russian).

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ФОРМУЛ

Настройки для набора формул в редакторе MathType

Define Styles

☐ Simple
☒ Advanced

Style	Font	Character Style	
		Bold	Italic
Text	Times New Roman	☐	☐
Function	Times New Roman	☐	☐
Variable	Times New Roman	☐	☒
L.C. Greek	Symbol	☐	☐
U.C. Greek	Symbol	☐	☐
Symbol	Symbol	☐	☐
Vector-Matrix . .	Times New Roman	☒	☐
Number	Times New Roman	☐	☐
Extra Math	MT Extra	☐	☐
User 1	Courier New	☐	☐
User 2	Times New Roman	☐	☐

☒ Use for new equations

Language/Keyboard:

Text style Any

Other styles Any

Define Sizes

Full	11	pt	^
Subscript/Superscript	7	pt	
Sub- Subscript/Superscript	5	pt	
Symbol	17	pt	
Sub-symbol	12	pt	
User 1	75	%	
User 2	150	%	v

$$(1+B)^2 \sum_{p=1}^k x_{n_k}^{kp}$$

☒ Use for new equations