

Уважаемые читатели и авторы!

Редакция журнала открыта для сотрудничества и приглашает к публикации учёных, педагогов, аспирантов и практикующих специалистов в образовательной, технической и экономической сферах. Плата за размещение статьи в выпуске не взимается.

Цели журнала – удовлетворение потребностей специалистов различного профиля в научной и аналитической информации по вопросам внедрения и использования информационно-коммуникационных технологий (в том числе в образовательном процессе) в условиях цифровой трансформации всех сфер общественной жизни.

Задачи журнала: публикация современных достижений в области технических и экономических наук, включая результаты национальных и международных исследований.

Журнал «Цифровая трансформация» зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь (свидетельство о регистрации от 27.09.2017 г. № 662). Журнал включен приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований (отрасли наук: технические (информатика, компьютерная техника), экономические и образование). Также журнал индексируется в базах Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), Directory of Open Access Journals (DOAJ), EconPapers. Префикс DOI 10.35596.

С электронной версией журнала, редакционной политикой и правилами для авторов можно ознакомиться на сайте dt.bsuir.by. Текст научной статьи для публикации можно подать с помощью специальной формы на сайте журнала или отправить его на электронный адрес dig.tr@bsuir.by. Получение бумажной версии журнала «Цифровая трансформация» доступно через оформление подписки на квартал, полугодие или год по следующим индексам: 75057 – для индивидуальных подписчиков, 750572 – для ведомственных.

Редакция журнала «Цифровая трансформация»

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Научный журнал издается с 1995 г. Выходит ежеквартально.

Ранее издание выходило под названием «Информатизация образования».

В 2017 г. журнал перерегистрирован под названием

«Цифровая трансформация», ISSN 2522-9613.

Главный редактор

Богуш Вадим Анатольевич, д.ф.-м.н., профессор, ректор учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (г. Минск, Республика Беларусь).

Редакционный совет

Сафонов В. Г., д.ф.-м.н., профессор, проректор по научной работе Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь).

Ковалев М. М., д.ф.-м.н., профессор кафедры аналитической экономики и эконометрики Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь).

Курбацкий А. Н., д.т.н., заведующий кафедрой технологий программирования Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь).

Борботько Т. В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (г. Минск, Республика Беларусь).

Листопад Н.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (г. Минск, Республика Беларусь).

Бондарь А. В., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой экономической политики учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет» (г. Минск, Республика Беларусь).

Миксюк С. Ф., д.э.н., профессор кафедры прикладной математики и экономической кибернетики учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет» (г. Минск, Республика Беларусь).

Читая Г. О., д.э.н., заведующий кафедрой прикладной математики и экономической кибернетики учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет» (г. Минск, Республика Беларусь).

Глухов В. В., д.э.н., профессор, руководитель административного аппарата ректора Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация).

Косяков Д. В., заместитель директора по развитию, научный сотрудник лаборатории наукометрии Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук», научный сотрудник информационно-аналитического центра Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Новосибирск, Российская Федерация).

Малинецкий Г. Г., д.ф.-м.н., профессор, заведующий отделом математического моделирования нелинейных процессов Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (г. Москва, Российская Федерация).

Плотников В. А., д.э.н., профессор, профессор кафедры общей экономической теории и истории экономической мысли Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» (г. Санкт-Петербург, Российская Федерация).

Дземида Г., д.т.н., профессор, действительный член Академии наук Литвы, директор Института науки о данных и цифровых технологий Вильнюсского университета (г. Вильнюс, Литовская Республика).

Ордуна-Мале Э., д.филос.н. (библиотечные и информационные науки), доцент Политехнического университета Валенсии (г. Валенсия, Испания).

Ответственный секретарь редакции журнала, редактор: Т. В. Мироненко

Корректор: А. К. Мяделко

Специалист по компьютерному дизайну и верстке: А. Д. Гурбо

Подписано в печать 14.05.2022. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 8,2. Тираж 300 экз. Заказ 63.

Распространяется по подписке. Подписка осуществляется через почтовые отделения связи по каталогу газет и журналов Республики Беларусь.

Индекс для индивидуальной подписки – 75057; индекс для ведомственной подписки – 750572.

Учредитель и издатель: учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013.

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации № 662 от 27.06.2017 г.

Отпечатано в редакционно-издательском отделе учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. Платонова, 39, г. Минск, 220005

(лицензия на осуществление полиграфической деятельности № 02330/264 от 24.12.2020).

DIGITAL TRANSFORMATION

The scientific journal is being published since 1995. Publication frequency – quarterly.

The publication previously came out under the title "Informatization of Education" (renamed in 2017).

In 2017 the journal was reregistered as "Digital Transformation", ISSN 2522-9613.

Head Editor

V. Bogush, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Rector of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

Editorial Board

V. Safonov, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Vice-Rector for Science, Belarusian State University, Minsk, Belarus.

M. Kovalev, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor at the Department of Analytical Economics and Econometrics, Belarusian State University, Minsk, Belarus.

A. Kurbackij, Doctor of Science (Technology), Head of the Department of Programming Technologies, Belarusian State University, Minsk, Belarus.

T. Borbotko, Doctor of Science (Technology), Head of the Department of Information Security, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus.

N. Listopad, Doctor of Science (Technology), Professor, Head of the Department of Information Radiotechnologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus.

A. Bondar, Doctor of Science (Economics), Head of the Department of Economic Policy, Belarus State Economic University, Minsk, Belarus.

S. Miksyuk, Doctor of Science (Economics), Professor at the Department of Applied Mathematics and Economic Cybernetics, Belarus State Economic University, Minsk, Belarus.

G. Chitaya, Doctor of Science (Economics), Head of the Department of Applied Mathematics and Economic Cybernetics, Belarus State Economic University, Minsk, Belarus.

V. Glukhov, Doctor of Science (Economics), Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia.

D. Kosyakov, Deputy Director, Researcher at the Laboratory of Scientometrics, State Public Scientific-Technological Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; Researcher at the Information and Analytical Centre, Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia.

G. Malinetskiy, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Department of Mathematical Modeling of Nonlinear Processes, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

V. Plotnikov, Doctor of Science (Economics), Professor, Professor at the Department of General Economic Theory and History of Economic Thought, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia.

Gintautas Dzemyda, Prof. Dr. Habil. (Technology), Full member of the Lithuanian Academy of Sciences, Director of the Institute of Data Science and Digital Technologies, Vilnius University, Vilnius, Lithuania.

Enrique Orduña-Malea, PhD in Library & Information Science, Assistant Professor, Polytechnic University of Valencia, Valencia, Spain.

Editors: Responsible secretary of the journal editorial office, editor: T. V. Mironenka

Corrector: A. K. Myadelko

Computer design and layout specialist: A. D. Hurbo

Founder and publisher: Educational Establishment "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics".

Signed for printing 14.05.2022. Format 60×84 1/4. Offset paper. Printed on a risograph.

Ed.-pr. 1. 10.0. Ed.-ed. 1. 8,2. Circulation 300 copies. Order 63.

Distributed by subscription. Subscription is carried out through post offices

according to the catalog of newspapers and magazines of the Republic of Belarus.

Index for individual subscription - 75057; index for departmental subscription - 750572.

Certificate of state registration of the mass media No. 662 dated June 27, 2017

Address of editorial office: Editorial and Publishing Department of the Educational Establishment "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics", Platonova st. 39, Minsk, 220005 (license to carry out printing activities № 02330/264 dated December 24, 2020).

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

DIGITAL TRANSFORMATION

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНИКА, ОБРАЗОВАНИЕ, ЭКОНОМИКА

Головенчик Г.Г. Цифровые технологии – ключевой драйвер развития умных городов: анализ мировых рейтингов	5
Серебряная Л.В. Методы построения искусственных нейронных сетей для классификации данных.....	20
Шамына А.Ю., Иванюк А.А. Исследование временных параметров физически неклонированной функции типа арбитр с использованием кольцевого осциллятора.....	27
Шумский Д.С., Забродская К.А., Сосновский О.А. Рейтинговая оценка конкурентоспособности банков Республики Беларусь	39
Бородинская Е.М., Фиронов А.Н. Цифровая культура организации как конвергентная парадигма для права и экономики.....	48
Турлай А.П. Оценка рациональности использования GSM-R модемов новой серии.....	58
Цедрик А.В. Влияние цифровых решений на бигтех-компании и организации энергетического комплекса и ряд направлений развития для Республики Беларусь	63
Спринджук М.В., Владыко А.С., Титов Л.П., Чжочжуан Лу, Берник В.И. Алгоритмы обработки геномов коронавируса для целей и задач современной иммуноинформатики, вакциномики и вирусологии.....	71

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER EQUIPMENT, EDUCATION, ECONOMICS

Goloventchik G.G. Digital Technologies are a Key Driver of the Development of Smart Cities: Analysis of World Rankings.....	5
Serebryanaya L.V. Methods for Constructing Artificial Neural Networks for Data Classification	20
Shamyna A.Yu, Ivaniuk A.A. Investigation of the Timing Parameters of The Arbitr-Based Physically Unclonable Function Using a Ring Oscillator.....	27
Shumsky D.S., Zabrodskaya Ch.A., Sosnovsky O.A. Rating Assessment of the Competitiveness of Banks of the Republic of Belarus.....	39
Borodinskaya E.M., Fironov A.N. Organization Digital Culture as Convergent Paradigm for Law and Economy.....	48
Turlai A.P. Evaluation of the Rationality of Using GSM-R Modems of the New Series	58
Tsedrik A.V. Impact of Digital Solutions on Bigtech Companies and Energy Complex Organizations and a Number of Directions for the Development of the Republic of Belarus..	63
Sprindzuk M.V., Vladyko A.S., Titov L.P., Zhuozhuang Lu, Bernik V.I. Algorithms for Processing Coronavirus Genomes for the Goals and Objectives of Modern Immunoinformatics, Vaccinomics and Virology.....	71



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-5-19>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 338.28

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КЛЮЧЕВОЙ ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ УМНЫХ ГОРОДОВ: АНАЛИЗ МИРОВЫХ РЕЙТИНГОВ

Г.Г. ГОЛОВЕНЧИК

Белорусский государственный университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 4 февраля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Умный город – это системное решение актуальных городских проблем с использованием возможностей, предоставляемых последними достижениями в области цифровых технологий. В статье исследуются 15 мировых рейтингов умных городов с позиций выявления приоритетных направлений цифровизации города, которые в совокупности становятся драйверами развития умных городов. Представлен гибридный консенсус-рейтинг 25 лучших умных городов мира и выявлена его связь с уровнем цифровизации страны. Сделан вывод, что активное использование инновационных цифровых технологий помогает умным городам успешнее преодолевать последствия пандемии COVID-19.

Ключевые слова: умный город, интеллектуальное управление, цифровые технологии, рейтинг.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Головенчик Г.Г. Цифровые технологии – ключевой драйвер развития умных городов: анализ мировых рейтингов. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 5-19.

DIGITAL TECHNOLOGIES ARE A KEY DRIVER OF THE DEVELOPMENT OF SMART CITIES: ANALYSIS OF WORLD RANKINGS

GALINA G. GOLOVENTCHIK

Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 4 February 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. A smart city is a system solution of actual urban problems through the use of the possibilities created by the latest achievements in the field of digital technologies. The article analyzes 15 world ratings of smart cities from the position of defining the priority areas of urban digitalization which in total become the drivers of the development of intelligent cities. The article gives a hybrid consensus-rating of top 25 smart cities of the world and reveals its connection with the level of digitalization of the country. The article shows that active use of innovative digital technologies helps smart cities more successfully overcome the consequences of the COVID-19 pandemic.

Keywords: smart city, intelligent management, digital technologies, rating.

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

For citation. Goloventchik G.G. Digital Technologies are a Key Driver of the Development of Smart Cities: Analysis of World Rankings. Digital transformation. 2022; 28(1): 5-19.

Введение

В начале XXI в. наблюдается процесс политической трансформации от модели национального государства к многоуровневому управлению, когда города получают больше власти и свободы действий. Глобальные социальные и торговые сети, криптовалюты, интернет вещей и прочие обезличенные информационные средства совершения транзакций вывели международную торговлю и финансы за пределы национальных юрисдикций и существенно повлияли на развитие городов [1, с. 4].

Вместе с тем быстрый рост городского населения, начавшийся во второй половине прошлого века, породил множество проблем, включая нехватку доступного жилья и критически важных ресурсов (питьевая вода, различные виды энергии и т. п.), снижение качества инфраструктуры (дороги, школы, объекты здравоохранения, общественный транспорт), ухудшение экологической ситуации, рост преступности и т. д. В то же время экономические и технологические изменения, вызванные цифровой глобализацией, предоставили новые, ранее недоступные возможности для развития городской инфраструктуры и муниципальных сервисов. Города становятся центрами глобально интегрированной мировой экономики, местами концентрации физического, финансового и человеческого капитала.

Достижения в области цифровых технологий – дешевые мобильные точки доступа в интернет, бесплатные социальные сети, облачные вычисления и эффективные способы обработки больших объемов данных – предоставляют городам лучшие возможности и инструменты для понимания и прогнозирования городских функций.

Процессы цифровизации стали драйвером (определяющим фактором) появления и развития умных городов – высокотехнологичных городских территорий, объединяющих людей, информацию и цифровые технологии; городских сообществ, которые стремятся к устойчивому экономическому развитию за счет инвестиций в человеческий и социальный капитал и управляют окружающей средой на основе широкого участия граждан.

Концепция умных городов все еще развивается, и различные заинтересованные стороны имеют разные представления о том, что такое умный город или каким он должен быть. Можно принять определение Yin et al.: «Умный город – это системная интеграция технологической инфраструктуры, которая опирается на передовую обработку данных с целью сделать городское управление более эффективным, граждан – счастливее, бизнес – более процветающим, а окружающую среду – более устойчивой» [2]. Таким образом, цель создания умного города – это решение проблем городского менеджмента и взаимодействия между гражданами и городскими учреждениями для достижения более высокого качества жизни. Умные города обладают всеми условиями для ведения здорового образа жизни, они предоставляют необходимую для деятельности высококвалифицированных специалистов цифровую инфраструктуру, которая обеспечивает мгновенный доступ к городским сервисам в любое время и в любом месте. Умные города поддерживают стабильность и заботятся о будущих поколениях; оснащенные передовыми цифровыми технологиями, они успешнее других противостоят пандемии COVID-19.

Главными активно действующими субъектами в умных городах являются институты из знаменитой «триады Ицковица» – университеты, бизнес и государство, основными функциями которых являются организованное производство знаний, создание на их основе экономического богатства и административный контроль. Lombardi et al. (2012) дополнили «тройную спираль» четвертым актором – гражданским обществом [3]. CONCERTO – исследовательский проект Европейской комиссии – предполагает, что для создания умных городов необходимо объединить усилия местных органов власти, частных инвесторов, НПО и ассоциаций, поставщиков материалов, дизайнеров, градостроителей, застройщиков,

энергетических компаний, подрядчиков, инженеров, арендаторов и владельцев [4]. Подробнее о концепции умного города можно прочитать в [5].

Анализ мировых рейтингов умных городов

Все большее внимание ученых и городских менеджеров привлекают различные рейтинги умных городов, которые на основе множества количественных и качественных показателей ранжируют города. Рейтинги определяют «умность» соответствующего города в сравнении с другими и тем самым выявляют сильные и слабые стороны городов и ранжируют их в соответствии с их потенциалом и достижениями в цифровизации.

Рассмотрим наиболее известные мировые рейтинги умных городов с позиций выявления приоритетных направлений цифровизации городских процессов.

1. Компания PricewaterhouseCoopers представила в 2017 г. исследование «Будущее близко: индекс готовности городов»¹, которое показало, как цифровые технологии становятся главной частью стратегии развития города будущего, позволяют более рационально потреблять городские ресурсы, способствуют моментальной интеграции граждан и туристов в городскую среду. PwC оценила возможности мегаполисов для внедрения цифровых продуктов в различные городские сферы: здравоохранение, образование, безопасность, туризм и культура, транспорт, экономика, ЖКХ, градостроительство, взаимодействие с гражданами. Готовность города оценивалась по четырем направлениям, указывающим на приоритеты цифровизации: инфраструктурная готовность (наличие базовой инфраструктуры), регуляторная и технологическая готовность (наличие стратегий, нормативных актов и примеров внедрения инновационных решений), а также социальная готовность горожан к использованию цифровых технологий. В десятку лидеров рейтинга вошли Сингапур, Лондон, Шанхай, Нью-Йорк, Москва, Торонто, Токио, Гонконг, Сидней, Барселона.

2. Исследовательская компания Juniper Research (Великобритания) в 2018 г. подготовила доклад Smart Cities – What’s In It For Citizens? («Умные города: что это значит для горожан?»)², спонсируемый Intel. В докладе рассматривается эволюция умных городов в контексте мобильности государственных и частных транспортных систем, здравоохранения (предоставление услуг, доступ и эффективность), общественной безопасности (преступность, смертность и правоохранительные службы) и производительности (инициативы, способствующие производительности, демократизации услуг и распределению богатства).

В центр исследования был поставлен единственный невозобновляемый ресурс граждан – время. В докладе оценено, как инициативы умного города в четырех перечисленных областях помогают экономить этот ресурс в 20 ведущих муниципалитетах. В топ-10 вошли Сингапур, Лондон, Нью-Йорк, Сан-Франциско, Чикаго, Сеул, Берлин, Токио, Барселона, Мельбурн. Сан-Франциско и Сингапур преуспевают в мобильности; Чикаго, Нью-Йорк и Сингапур имеют высокие показатели в области общественной безопасности; Лондон и Сингапур являются лидерами в области дистанционного здравоохранения; Чикаго, Лондон и Сингапур – в плане производительности.

3. Для понимания радикальных изменений в городской жизни, вызванных искусственным интеллектом (ИИ), международное консалтинговое агентство Oliver Wyman (США) провело в 2019 г. исследование Global Cities` AI Readiness Index³, включающее беседы с лидерами бизнеса, представителями правительственных кругов и научного сообщества, опрос 10 тыс. жителей в 21 городе мира, анализ данных ООН, ОЭСР, Всемирного банка, Всемирного экономического форума и компании Mercer (характеристика качества жизни на основе Mercer Quality of Life index). По итогам исследования был составлен рейтинг городов, наиболее приспособленных к развитию и внедрению технологий ИИ, по четырем основным приоритетам:

¹ PwC: Будущее близко: индекс готовности городов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos.ru/upload/documents/files/9743/bydysheeblizko.pdf>.

² Juniper Research: Smart Cities – What’s In It For Citizens? [Electronic resource]. Mode of access: <https://newsroom.intel.com/wp-content/uploads/sites/11/2018/03/smart-cities-whats-in-it-for-citizens.pdf>.

³ Oliver Wyman Forum: Global Cities` AI Readiness Index 2019 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.oliverwymanforum.com/city-readiness/global-cities-ai-readiness-index-2019.html>.

– видение, приоритеты и мышление: демонстрирует ли город хорошее понимание потенциальных возможностей и рисков, связанных с технологическими сбоями, и имеет ли он систематический и комплексный план решения проблем?

– активация: располагает ли город и его заинтересованные стороны достаточными возможностями для реализации перспективных планов, включая сотрудничество между заинтересованными сторонами, необходимое для управления?

– база активов: есть ли у города активы, которые будут способствовать реализации его видения (запас талантов в колледжах и университетах, высококвалифицированная рабочая сила, опыт в области внедрения инноваций и привлечения компаний-первопроходцев, необходимая инфраструктура)?

– траектория и развитие: движется ли город в правильном направлении? Стали ли в последние годы активы города лучше соответствовать тому, что необходимо для достижения успеха в будущем?

Города были сгруппированы по размеру на мегаполисы (свыше 10 млн чел.), большие (от 5 до 10 млн чел.), средние (от 3 до 5 млн чел.) и малые (меньше 3 млн чел.) города. В пятерку мегаполисов, наиболее приспособленных к ИИ, вошли: Лондон, Нью-Йорк, Париж, Лос-Анжелес, Пекин; среди крупных городов это Сингапур, Берлин, Чикаго, Сеул, Вашингтон; средних городов – Сан-Франциско, Бостон, Сидней, Гамбург, Сиэтл; малых городов – Стокгольм, Амстердам, Мюнхен, Дублин, Окленд. В топ-10 среди всех городов по количеству набранных баллов вошли: Сингапур (75,8), Лондон (75,6), Нью-Йорк (72,7), Сан-Франциско (71,9), Париж (71,0), Стокгольм (70,4), Амстердам (68,6), Бостон (68,5), Берлин (67,3) и Сидней (67,3).

Оказалось, что ни один город не готов в должной степени к предстоящим технологическим вызовам внедрения ИИ (ни один город не входит в топ-20 по всем четырем направлениям и в топ-10 хотя бы по трем направлениям).

4. В 2014 г. Центр глобализации и стратегии бизнес-школы Университета Наварры в Испании (IESE Business School) представил индекс Índice IESE Cities in Motion (CIM), в котором анализируется 101 показатель по девяти измерениям, которые считаются ключевыми для умных и устойчивых городов: человеческий капитал (развитие, привлечение и воспитание талантов), социальная сплоченность (консенсус между различными социальными группами в городе), экономика, управление, окружающая среда, мобильность и транспорт (простота передвижения и доступ к общественным услугам), городское планирование, международные прогнозы и технологии. В 2020 г. индекс⁴ охватывал 174 города в 80 странах, из которых 79 являются столицами. Первое место занял Лондон, за ним следуют Нью-Йорк, Париж, Токио, Рейкьявик, Копенгаген, Берлин, Амстердам, Сингапур и Гонконг. Шесть из десяти лучших городов находятся в Европе, Нью-Йорк – единственный представитель Северной Америки, а Токио, Сингапур и Гонконг лидируют в азиатском регионе. В целом 27 городов Европы входят в топ-50.

5. Шведская компания EasyPark Group, которая специализируется в области геолокации и парковки при помощи мобильных приложений, в 2017–2020 гг. анализировала данные по 500 городам и составляла список 100 лучших – EasyPark Smart Cities Index. Рейтинг был основан на 24 показателях, объединенных для анализа по восьми направлениям: транспорт и мобильность, устойчивость, управление, инновационная экономика, цифровизация, кибербезопасность, уровень жизни, экспертное восприятие. В десятку самых умных городов мира в 2020 г. вошли Осло, Берген, Амстердам, Копенгаген, Стокгольм, Монреаль, Вена, Оденсе, Сингапур, Бостон.

С 2021 г. EasyPark Group стала публиковать исследование The Cities of the Future Index⁵, которое показывает, какие умные города лидируют в освоении технологических достижений для повышения их устойчивости и удобства для жизни и зарекомендовали себя как города будущего. В исследовании проведена оценка тысяч городов по всему миру, разбитых

⁴ IESE Cities in Motion 2020 [Electronic resource]. Mode of access: <https://blog.iese.edu/cities-challenges-and-management/2020/10/27/iese-cities-in-motion-index-2020/>.

⁵ The Cities of the Future Index [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.easyparkgroup.com/news/the-cities-of-the-future-index/>.

на три категории: мегаполисы с населением более 3 млн чел.; средние города, где проживает от 600 тыс. до 3 млн жителей; малые города с числом от 50 тыс. до 600 тыс. жителей. Использовались данные ООН, Всемирного банка, МВФ, Международного энергетического агентства, Бизнес-школы IMD, Фонда информационных технологий и инноваций, журналов The Economist и The Lancet. На основе 14 факторов, каждый из которых состоит из одного или нескольких показателей, показывающих, насколько умным и устойчивым является город, оценивались следующие четыре области:

- цифровая жизнь – распространенность образовательных учреждений мирового класса и инновационных систем здравоохранения, а также количество цифровых технологий, которые были внедрены городом;
- инновации в области мобильности – качество инноваций в области парковки, организации дорожного движения и того, насколько экологичен транспорт;
- инфраструктура бизнес-технологий – уровень инноваций в бизнесе, распространенность электронных платежей и качество подключения к интернету;
- экологическая устойчивость – использование «зеленой» энергии, количество «зеленых» зданий, система управления отходами, общая реакция на изменение климата.

В результате исследования были выявлены 50 самых умных городов в каждой категории (табл. 1).

Таблица 1. Ведущие города рейтинга The Cities of the Future Index 2021 (в зависимости от размера)
Table 1. The leading cities of The Cities of the Future Index 2021 rating (depending on size)

Ведущие крупные города мира (более 3 млн чел.)	Ведущие средние города мира (от 600 тыс. До 3 млн чел.)	Ведущие малые города мира (от 50 тыс. До 600 тыс. чел.)
Лондон 100,00	Копенгаген 100,00	Лунд 100,00
Нью-Йорк 95,84	Стокгольм 99,84	Ставангер 88,75
Сан-Франциско 94,43	Осло 98,48	Эспоо 88,07
Сингапур 94,21	Амстердам 96,57	Мальмё 87,49
Берлин 92,58	Цюрих 94,04	Ольборг 87,09
Роттердам 91,44	Гетеборг 88,93	Орхус 86,88
Сиэтл 90,40	Хельсинки 87,92	Тронхейм 85,25
Сеул 87,50	Бостон 84,65	Берген 84,77
Вашингтон 86,77	Утрехт 83,13	Порвоо 81,35
Манчестер 85,34	Эдинбург 79,82	Кембридж 81,17
Примечание. Собственная разработка. / Note. The author's own development.		

6. Международное консалтинговое агентство в сфере инноваций 2thinknow (Австралия) с 2007 г. ежегодно составляет рейтинг инновационных городов Innovation Cities Index: Top 100 World's Most Innovative Cities, оценивая 500 городов на основе 162 показателей, агрегированных в три фактора:

- культурные ценности – наличие художественных сообществ, общественных организаций, музеев, количество галерей, издаваемых книг и СМИ, проводимых музыкальных мероприятий, доступность информации и возможность заниматься спортом;
- человеческая инфраструктура – включает в себя инфраструктуру общественного транспорта, финансов, университетов, больниц, железных и автомобильных дорог, юриспруденции, торговли, стартапов, здравоохранения и телекоммуникаций;
- сетевые рынки – вовлеченность города в глобальные рыночные связи (например, экспорт и импорт), технологии, размер рынка, геополитические факторы и дипломатия.

В Innovation Cities Index 2021⁶ в десятку лучших входят: Токио, Бостон, Нью-Йорк, Сидней, Сингапур, Даллас – Форт-Уэрт, Сеул, Хьюстон, Чикаго, Париж. Среди лидеров, вошедших в топ-20, больше всего городов из США (11), шесть городов представляют Азиатско-Тихоокеанский регион и три – Европу.

⁶ 2thinknow: Most innovative cities 2021 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.innovation-cities.com/worlds-most-innovative-cities-2021-top-100/25477/>.

7. Журналы fDi Intelligence и TNW (The Next Web), специализированные издания по технологиям и инновациям, в 2021 г. представили рейтинг технологических городов будущего fDi x TNW Tech Cities of the Future 2021⁷. На основе опроса проведена оценка 76 городов в 31 европейской стране по пяти направлениям: экономический потенциал, эффективность прямых иностранных инвестиций, инновации и привлекательность, стартап-среда и экономическая эффективность. В десятку лучших городов в 2021 г. вошли Лондон, Париж, Дублин, Берлин, Амстердам, Мадрид, Барселона, Мюнхен, Стокгольм и Будапешт.

8. Агентство AT Kearney в 2021 г. опубликовало очередной отчет Global Cities Report 2021⁸, включающий две части – «Индекс глобальных городов» (The Global Cities Index – GCI) и «Прогноз городов мира в перспективе» (The Global Cities Outlook – GCO).

Индекс GCI измеряет степень вовлеченности городов в глобальные процессы по пяти направлениям: деловая активность, человеческий капитал, обмен информацией, культурный опыт и политическое участие. Индекс GCI дает количественную оценку глобальной взаимосвязанности и конкурентоспособности 156 городов по указанным пяти измерениям с учетом таких факторов, как динамика городского рынка, уровень образования, доступ к информации, возможности культуры и развлечений, присутствие международных организаций.

Рейтинг GCO представляет собой оценку того, как города создают условия для своего будущего статуса глобальных центров по четырем направлениям: личное благополучие, экономика, инновации и управление. Для оценки потенциала города используется 13 показателей, таких как здравоохранение, неравенство, легкость ведения бизнеса, развитие инфраструктуры и инвестиции. Вместе Индекс GCI и Прогноз GCO дают возможность оценить влияние, которое оказывают ведущие умные города мира сегодня, определить их сильные стороны и спрогнозировать, как картина может выглядеть в будущем.

В GCI-2021 Нью-Йорк, Лондон, Париж и Токио сохранили четыре верхние позиции, Лос-Анджелес вошел в пятерку лидеров, оттеснив Пекин и Гонконг в условиях пандемии и в связи со сложными изменениями в мировой торговле. В топ-10 городов мира также вошли Чикаго, Сингапур и Шанхай.

В GCO-2021 подчеркивается сильное влияние качества здравоохранения на будущую жизнеспособность глобального города. Несмотря на общее снижение показателей в результате пандемии, список городов, занявших первые 10 мест, в основном не изменился: Лондон – лидер, Париж, Мюнхен и Абу-Даби поднялись на три пункта, заняв второе, третье и четвертое места соответственно, а Дублин замыкает пятерку лидеров. В топ-10 GCO-2021 также вошли: Стокгольм, Токио, Торонто, Сидней и Сингапур.

9. Рейтинг Local Online Service Index (LOSI) один раз в два года составляется Департаментом по экономическим и социальным вопросам ООН и является составной частью доклада E-Government Survey. 100 городов мира оцениваются по четырем направлениям: технологии (11 показателей), контент (33), услуги (25), вовлеченность пользователей (11). В 2020 г. в десятке лучших оказались: Мадрид, Нью-Йорк, Таллин, Париж, Стокгольм, Москва, Богота, Буэнос-Айрес, Берлин и Сеул⁹.

10. Всемирная организация интеллектуальной собственности (WIPO) ООН в партнерстве с Корнельским университетом и французской бизнес-школой INSEAD ежегодно представляет Global Innovation Index, в рамках которого с 2016 г. составляет рейтинг, оценивающий инновационный потенциал городских кластеров. Для определения 100 лучших научно-технических кластеров мира учитываются два фактора: заявки на патенты в базе данных ВОИС и Индекс научного цитирования (SCIE). В 2021 г. к наиболее инновационным городским кластерам отнесены: Токио – Иокогама, Шэньчжэнь – Гонконг – Гуанчжоу, Пекин, Сеул, Сан-Хосе – Сан-Франциско, Осака – Кобе – Киото, Бостон – Кембридж, Шанхай, Нью-Йорк и Париж¹⁰.

⁷ fDi Intelligence / TNW: Tech Cities of the Future 2020/2021 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.fdiintelligence.com/article/79733>.

⁸ Global Cities: divergent prospects and new imperatives in the global recovery. 2021 Global Cities Report [Electronic resource]. Mode of access: <https://www. Kearney.com/global-cities/2021>.

⁹ UN: Local Online Service Index 2020 [Electronic resource]. Mode of access: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2020>.

¹⁰ WIPO Global Innovation Index 2021 [Electronic resource]. Mode of access: https://www.wipo.int/global_innovation_index/ru/2021/index.html.

11. С 2017 г. Центр мировой конкурентоспособности швейцарского Международного института развития менеджмента (IMD) в партнерстве с Сингапурским университетом технологии и дизайна (SUTD) создают глобальный индекс умных городов – IMD-SUTD Smart City Index (SCI). В 2021 г. было опрошено около 15 тыс. городских жителей в 118 городах мира для оценки качества здравоохранения, безопасности, мобильности, деятельности, работы и учебы, управления. В топ-10 самых умных городов вошли: Сингапур, Цюрих, Осло, Тайбэй, Лозанна, Хельсинки, Копенгаген, Женева, Окленд и Бильбао¹¹.

12. В 2021 г. Консалтинговая компания Eden Strategy Institute в партнерстве с OXD (ONG&ONG Experience Design) опубликовала Top 50 Smart City Government Rankings¹² – рейтинг лучших умных городов мира на основе исследования качества городского управления. Авторы доклада отметили: «...мы надеемся дать представление о том, как городские власти могут лучше координировать свои инициативы в области умного, демонстрируя глубокое понимание важности человеческого капитала и преобразующей силы гражданского общества при расширении прав и возможностей».

В рейтинге 2020/2021 г. было изучено 235 умных городов, правительства которых были проанализированы по 10 направлениям:

- ясность видения: четко определенная последовательная стратегия развития умного города;
- лидерство: целеустремленное городское правительство, которое руководит проектами умного города;
- бюджет: достаточное финансирование проектов умного города;
- финансирование: финансовые стимулы для эффективного поощрения участия частного сектора (например, гранты, скидки, субсидии, конкурсы);
- программы поддержки: поощрение частных субъектов к участию (например, инкубаторы МСБ, общественные мероприятия, цифровые платформы);
- реализация «умной» политики: благоприятная инфраструктура для развития умных городов (например, управление данными, защита IP, городской дизайн);
- развитие инновационной экосистемы: участие широкого круга заинтересованных сторон в поддержке инноваций;
- человекоцентричный подход: искренний, ориентированный на людей дизайн города будущего;
- готовность к талантам: программы по поощрению талантливых людей города с помощью развития «умных» навыков;
- репутация: опыт правительства в стимулировании успешных инициатив и проектов умного города.

В 2021 г. первое место в рейтинге занял Сингапур, далее следуют Сеул, Лондон, Барселона, Хельсинки, Нью-Йорк, Монреаль, Шанхай, Вена, Амстердам – города, прогрессивные не только с точки зрения технологий, но также по усилиям их правительств привлечь городское население на путь цифровизации.

13. Tholons Services Globalization Index (TSGI) ежегодно, начиная с 2017 г., публикуется консалтинговым агентством в сфере инноваций Tholons (Индия) и является рейтингом топ-100 «Супер-городов» (рейтинг цифровой трансформации городов с фокусом на развитии аутсорсинга). Города в рейтинге оцениваются по пяти направлениям: «Человеческий капитал», «Развитие бизнес-среды», «Иждержки и инфраструктура», «Безопасность и качество жизни», «Цифровизация и инновации». Наибольший вес при расчете итогового рейтинга имеет последняя группа – 40 % от общей оценки, тогда как ранее он составлял 25 %. В 2021 г. в топ-10 цифровых городов вошли Торонто, Сингапур, Бангалор, Сан-Франциско, Дублин, Сан-Паулу, Лондон, Манила, Мумбаи и Нью-Йорк¹³.

¹¹ IMD Smart City Index 2021 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.imd.org/smart-city-observatory/home/>.

¹² Top 50 Smart City Government Rankings [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.smartcitygovt.com/202021-publication>.

¹³ Tholons Services Globalization Index 2021 [Electronic resource]. Mode of access: <http://tholons.com/>.

14. Индекс интеллектуальных центров The Smart Centres Index¹⁴ (SCI) разработан британской фирмой Z/Yen и впервые опубликован в 2020 г. Индекс SCI оценивает усилия ведущих мировых коммерческих и финансовых центров по поддержке и готовности к применению инновационных технологий. Ежегодные отчеты SCI направлены на то, чтобы помочь инвесторам, правительствам и регулирующим органам оценить, насколько мировые центры настроены на привлечение инноваций и рост в сфере науки, техники, энергетических систем, машинного обучения, блокчейна и финтех. SCI отслеживает, как умные города развивают технологии и науку, привнося в повседневную жизнь новые идеи, новые преимущества, новые продукты и новые способы управления бизнесом.

SCI¹⁵ в 2021 г. исследовал 131 коммерческий и финансовый центр и выявил 72 лидера с использованием 130 количественных показателей, предоставляемых ООН, ОЭСР, Всемирным банком, аналитической группой Economics. Эти показатели сгруппированы по шести направлениям конкурентоспособности: технологии, финансовые услуги, репутация, деловая среда, человеческий капитал, инфраструктура. В топ-10 вошли Нью-Йорк, Лондон, Оксфорд, Кембридж, Гонконг, Сингапур, Цюрих, Копенгаген, Стокгольм, Дублин. Нью-Йорк занял первые места в категориях «Технологии», «Деловая среда», «Человеческий капитал», «Инфраструктура», «Финансовые услуги» и второе место в категории «Репутация».

15. Рейтинг Global Smart Cities Ranking – результат совместной работы Института информации Шанхайской академии общественных наук и исследовательского центра «Умный город» Университета Фудань при поддержке Сети государственного управления ООН. Последний отчет Global Smart Cities 2021: «Умные города в эпицентре пандемии» (Smart cities at the epicenter of the pandemic) основан на новой модели оценки и не только фокусируется на производительности глобальных умных городов в условиях пандемического кризиса COVID-19, но и придерживается принципа «гуманность, технологии и устойчивость».

Индекса основан на оценке пяти количественных (умная инфраструктура, умная экономика, умные услуги, умное управление и умные инновации) и одного качественного (умная репутация) направлений, каждое из которых включает в себя 4-5 показателей.

Глобальные умные города разделены на три уровня (табл. 2):

- первый уровень (выше 97,3 балла) называют «лидеры», он включает Нью-Йорк, Сингапур и Лондон, которые сохраняют лидирующие позиции практически по всем направлениям развития умных городов и являются образцами для других городов по всему миру;
- второй уровень (71,9–97,3) – передовики – включает 13 городов, демонстрирующих выдающиеся результаты по отдельным показателям;
- третий уровень (ниже 71,9 балла) – последователи – включает в себя четыре города, которые по сравнению с первыми двумя группами также заметны.

Таблица 2. Global Smart Cities Ranking 2021
Table 2. Global Smart Cities Ranking 2021

Уровень	Город	Умная инфраструктура	Умная экономика	Умные услуги	Умное управление	Умные инновации	Общий результат	Рейтинг	Умная репутация
Лидеры	Нью-Йорк	83,0	89,7	81,3	78,9	93,4	100,0	1	3
	Сингапур	90,7	72,3	90,8	84,3	83,0	98,8	2	1
	Лондон	82,7	81,7	80,8	71,9	97,4	97,3	3	4

¹⁴ The Smart Centres Index [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.zyen.com/publications/public-reports/smart-centres-index-4/>.

¹⁵ Global Smart Cities 2021 – Smart Cities at the Epicenter of the Pandemic [Electronic resource]. Mode of access: <https://unpan.un.org/node/1538>.

Продолжение таблицы 2

Передовики	Пекин	68,2	79,9	97,1	80,6	73,4	93,6	4	2
	Шанхай	67,5	79,1	99,2	81,5	71,7	93,6	5	6
	Лос-Анджелес	83,0	69,5	77,8	77,8	88,1	93,0	6	18
	Гонконг	97,7	65,0	81,9	68,8	82,6	92,9	7	7
	Дубай	81,7	59,7	90,7	94,7	65,0	91,9	8	11
	Чикаго	83,0	69,9	75,4	74,7	85,0	91,0	9	12
	Сидней	77,4	60,4	79,1	81,6	84,0	89,7	10	17
	Сеул	73,8	58,9	81,1	82,5	84,6	89,4	11	5
	Париж	74,9	72,6	78,1	68,2	82,7	88,3	12	12
	Токио	75,6	66,6	68,8	72,1	90,7	87,7	13	10
	Москва	75,5	56,7	85,4	77,0	72,1	86,0	14	12
	Торонто	74,4	64,9	73,4	74,6	77,5	85,6	15	9
	Берлин	77,0	58,7	70,8	68,2	79,5	83,1	16	15
Последователи	Мумбаи	59,9	46,8	86,2	63,9	49,2	71,8	17	16
	Буэнос-Айрес	69,9	40,0	66,8	61,9	63,5	70,9	18	20
	Рио-де-Жанейро	67,8	36,5	52,9	49,6	60,4	62,7	19	8
	Кэрл	55,6	29,4	72,5	56,2	50,7	62,0	20	19

Примечание. Собственная разработка. / Note. The author's own development.

Связь консенсус-рангов умных городов и цифровизации страны

Путем агрегации приведенных рейтингов рассчитаем консенсус-ранг и выявим 25 лучших умных городов мира. Для расчета консенсус-ранга умного города $R_{\text{SmartCity}}$ используем следующую формулу, аналогичную предложенной нами в [6] для расчета консенсус-ранга глобализации R_{glob} страны:

$$R_{\text{SmartCity}} = \frac{\sum_{i \in M} \left(\frac{\ln n_i^1}{\ln(k_i^1 + 1)} \cdot e^{\left(\frac{k_i^0}{n_i^0} - \frac{k_i^1}{n_i^1} \right)} \right)}{M}, \quad (1)$$

где k_i^0 , k_i^1 – место умного города в предыдущем и последнем рейтинге i ; n_i^0 , n_i^1 – количество городов в предыдущем и последнем рейтинге i ; M – множество рейтингов, в которых участвует город в последнем году.

Для более корректного расчета консенсус-ранга исключим из консенсусного набора пять рейтингов, в которые входит малое количество умных городов из числа лидеров: «PwC: Будущее близко» 2017 (8 городов из 25), Juniper Research: Smart Cities – Whats In It For Citizens? 2018 (8 городов), UN: Local Online Service Index 2020 (13 городов), fDIxTNW: Tech Cities of the Future 2021 (9 городов), Global Smart Cities Ranking 2021 (14 городов).

Результаты ранжирования умных городов по методике на основе формулы (1) представлены в табл. 3. Согласно методике, чем больше консенсус-ранг, тем выше место города в консенсус-рейтинге.

Топ-25 консенсус-рейтинга представлен 19 странами, при этом 13 стран (Австрия, Великобритания, Германия, Гонконг (Китай), Дания, Канада, Нидерланды, Республика Корея, Сингапур, США, Финляндия, Швейцария и Швеция) входят в топ-20 и по уровню цифровизации, и по уровню глобализации, а еще четыре страны (Австралия, Ирландия, Франция и Япония) являются лидерами одного из упомянутых консенсус-рейтингов (подробнее см. [6]).

На рис. 1 эти 17 стран, занимающих первые места в консенсус-рейтингах, представлены в координатах «цифровизация страны/умный город (страна)» в соответствии с рассчитанными консенсус-рангами. Диапазон консенсус-рангов цифровизации – от 1,60 (Франция) до 4,32 (США); умных городов – от 1,51 (Австрия, Вена) до 4,40 (Великобритания, Лондон). Чем ближе позиция страны к пунктирной линии, тем в более равной степени она

и цифровизована, и имеет наиболее умный город. К таким странам (разница в индексах менее 1) можно отнести Германию, Австралию, Ирландию, Сингапур, Австрию, Гонконг (Китай), Канаду, Нидерланды, Францию, США, Республику Корею, Финляндию (разница в индексах составляет 0,01875...0,94054). Разница более 1 в консенсус-рангах цифровизации и умного города наблюдается у Великобритании (2,20175), Швейцарии (1,26232), Швеции (1,20148), Дании (1,18971) и Японии (1,16600) (выделены зеленым цветом). Таким образом, уровень развития цифровых технологий в стране непосредственно влияет на уровень развития умных городов, т. е. цифровизация страны является ключевым драйвером развития умных городов. Отметим, что, по данным Statista, глобальный доход от продажи компаниями цифровых технологий, продуктов и услуг (включая облачные вычисления, технологии подключения и т. п.) умным городам достиг в 2021 г. 129 млрд долл.¹⁶.

Таблица 3. Топ-25 умных городов мира на основе консенсус-рейтинга
Table 3. Top 25 smart cities in the world based on a consensus rating

Место	Город	Oliver Wyman Forum: Global Cities AI Readiness Index 2019	IESE: Cities in Motion 2020	2thinknow: Innovation Cities Index 2021	EasyPark Group: The Cities of the Future Index 2021	IMD-SUTD: Smart City Index 2021	Z/Yen: The Smart Centres Index 2021	AT Kearney: Global Cities Index 2021	Tholons: Services Globalization Index 2021	WIPO GII: Science and Technology clusters 2021	Smart City Government Rankings 2020/2021	Консенсус-ранг
1	Лондон (Великобритания)	1	1	11	1	22	2	2	7	15	3	4,39684
2	Нью-Йорк (США)	3	2	3	6	12	1	1	10	9	6	3,65387
3	Сингапур	2	9	5	8	1	6	29	2	29	1	3,39751
4	Токио (Япония)	41	4	1	18	84	47	4	14	1	22	3,09657
5	Сеул (Республика Корея)	16	19	7	15	13	25	17	15	4	2	2,38375
6	Париж (Франция)	5	3	10	20	61	31	3	49	10	—	2,26257
7	Сан-Франциско (США)	4	20	12	7	60	17	11	4	5	13	2,16249
8	Гонконг (Китай)	20	10	49	28	41	5	7	—	2	41	2,06867
9	Торонто (Канада)	27	30	43	19	36	27	20	1	40	—	2,01233
10	Копенгаген (Дания)	25	6	54	2	7	8	43	54	56	25	1,98255
11	Пекин (Китай)	18	84	19	54	69	23	6	—	3	15	1,90128
12	Амстердам (Нидерланды)	7	8	24	5	17	19	22	18	19	10	1,89895
13	Бостон (США)	8	28	2	21	57	16	21	44	7	32	1,88800
14	Стокгольм (Швеция)	6	14	16	3	25	9	41	23	35	50	1,85613
15	Цюрих (Швейцария)	23	11	70	13	2	7	30	—	50	45	1,84138
16	Сидней (Австралия)	10	17	4	41	18	38	15	11	37	18	1,83385
17	Берлин (Германия)	9	7	31	10	50	22	13	61	45	23	1,66788
18	Шанхай (Китай)	37	58	15	71	71	28	10	—	8	8	1,65272
19	Лос-Анджелес (США)	14	16	20	27	31	13	5	21	14	40	1,65000
20	Вашингтон (США)	17	15	18	16	35	29	14	37	13	—	1,64028
21	Чикаго (США)	15	13	9	22	59	11	8	33	23	42	1,63540
22	Хельсинки (Финляндия)	—	22	41	14	6	—	61	66	74	5	1,60752
23	Барселона (Испания)	51	26	52	33	58	—	28	41	47	4	1,59355
24	Дублин (Ирландия)	12	33	92	79	48	10	45	5	—	26	1,54063
25	Вена (Австрия)	33	18	22	44	11	36	25	—	71	9	1,50958
	Количество городов в рейтинге	105	174	500	100	118	72	156	100	100	50	
Примечание. Собственная разработка. / Note. The author's own development.												

¹⁶ Smart city revenue worldwide 2020-2025 [Electronic resource]. Mode of access: <https://www.statista.com/statistics/1111626/worldwide-smart-city-market-revenue/>.

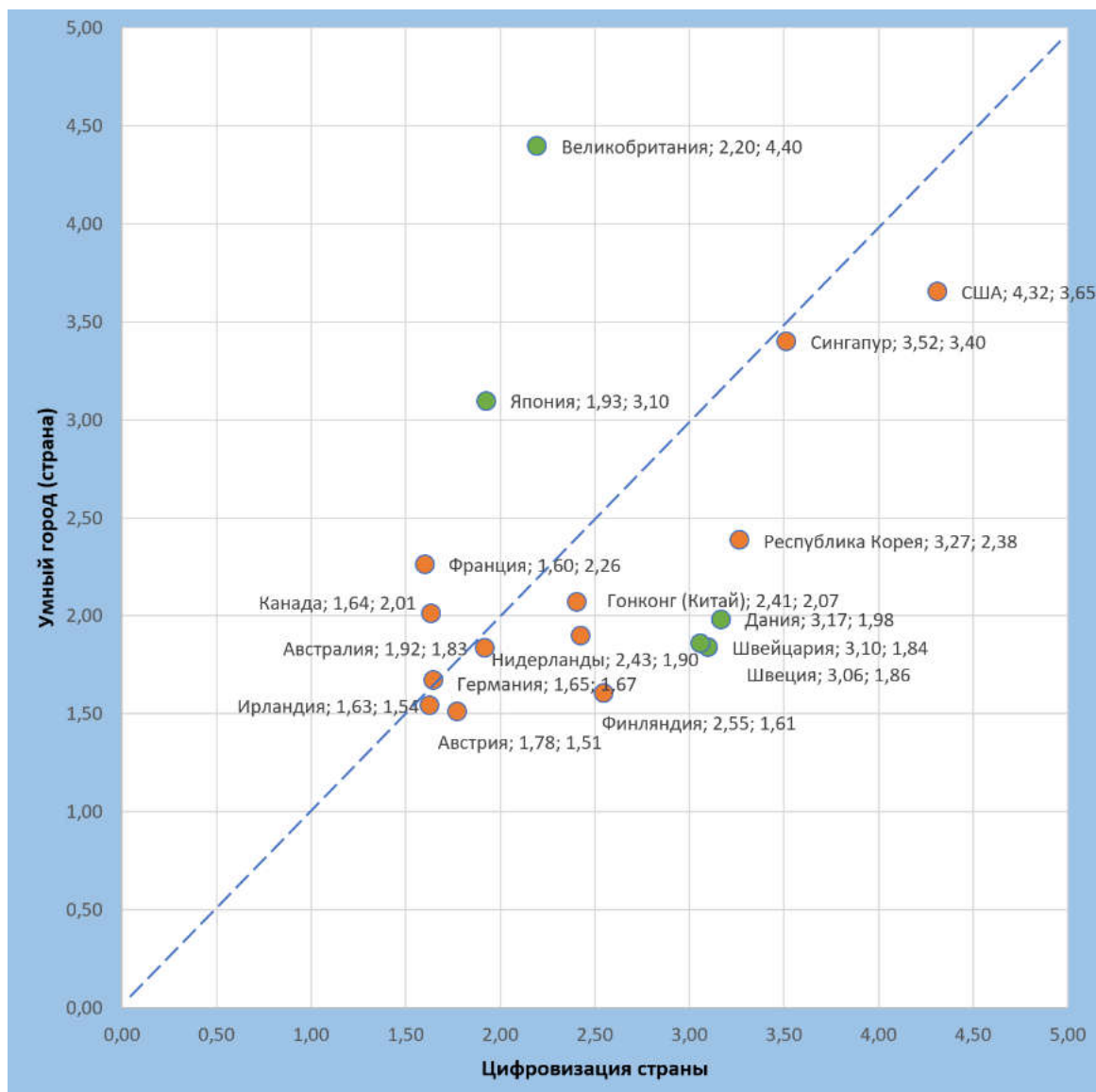


Рис. 1. Зависимость консенсус-ранга цифровизации страны и умных городов
Fig. 1. Dependence of the consensus rank of digitalization of the country and smart cities

Примечание. Собственная разработка. / Note. The author's own development

Приоритетные направления и технологии развития умных городов

Табл. 3 и приведенное описание рейтингов умных городов позволяют сделать ряд важных выводов, сформулировать требования к готовности городов стать умными (рис. 2) и представить приоритеты в цифровизации города и внедрении цифровых технологий (рис. 3 и 4):

1. В консенсус-рейтинге 25 ведущих умных городов мира больше всего представителей Западной Европы – 11, Азиатско-Тихоокеанского региона – 7, Северной Америки – 7. Лучший результат среди стран показали США – 6 городов. Отметим, что еще несколько американских городов (Атланта, Даллас, Майами, Портленд, Сан-Антонио, Сан-Диего, Сан-Хосе, Сидней, Хьюстон) входят в топ-20 некоторых рассмотренных рейтингов по итогам 2020–2021 гг. Второй наиболее продвинутой в развитии умных городов страной является КНР: Гонконг, Пекин и Шанхай занимают в консенсус-рейтинге соответственно 8-е, 11-е и 18-е места; в топ некоторых рейтингов входят Иньчуань, Уси и Ханчжоу. Кроме того, китайские умные города быстро прогрессируют, например, в GCO-2021 из восьми городов, которые поднялись более чем на 10 позиций в рейтинге, пять являются китайскими: Гуанчжоу (+20), Шанхай (+15), Шэньчжэнь (+15), Чунцин (+12) и Сучжоу (+10).

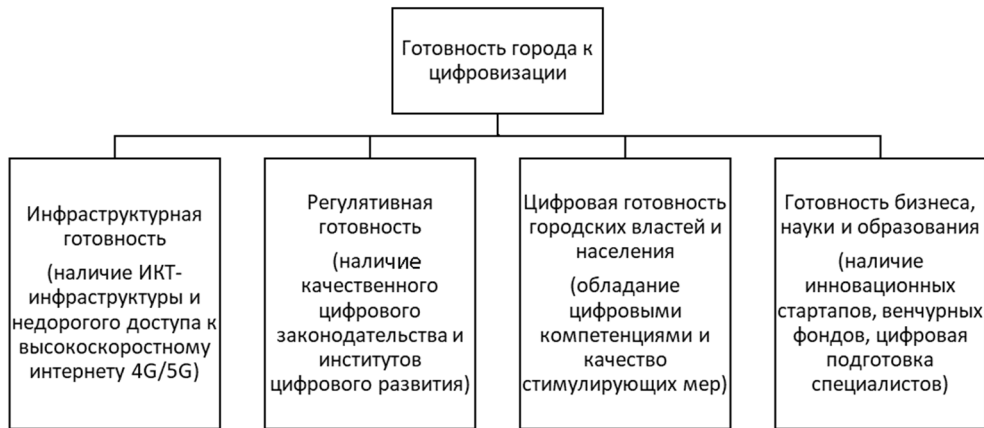


Рис. 2. Готовность города стать цифровым
Fig. 2. The readiness of the city to become digital

Примечание. Собственная разработка. / Note. The author’s own development

2. В консенсус-рейтинге умных городов явное преимущество имеют мегаполисы, обладающие хорошо развитой цифровой инфраструктурой и активами (регуляторными, инновационными, человеческими), но небольшие города могут быть столь же готовыми к цифровизации. Среди лидеров консенсус-рейтинга только три европейских города являются мегаполисами (Лондон, Париж, Берлин), остальные относятся к категории средних городов. Например, в число мировых лидеров входят Амстердам, Дублин, Копенгаген, Хельсинки, Стокгольм – небольшие хорошо управляемые города, которые в полной мере используют цифровые технологии, извлекая выгоду из нематериального и мобильного характера умной городской экономики. Высокое положение в консенсус-рейтинге занимают скандинавские умные города, которые находятся на переднем крае внедрения цифровых технологий и делают все возможное, чтобы обеспечить устойчивую и комфортную для жизни среду для своих граждан.

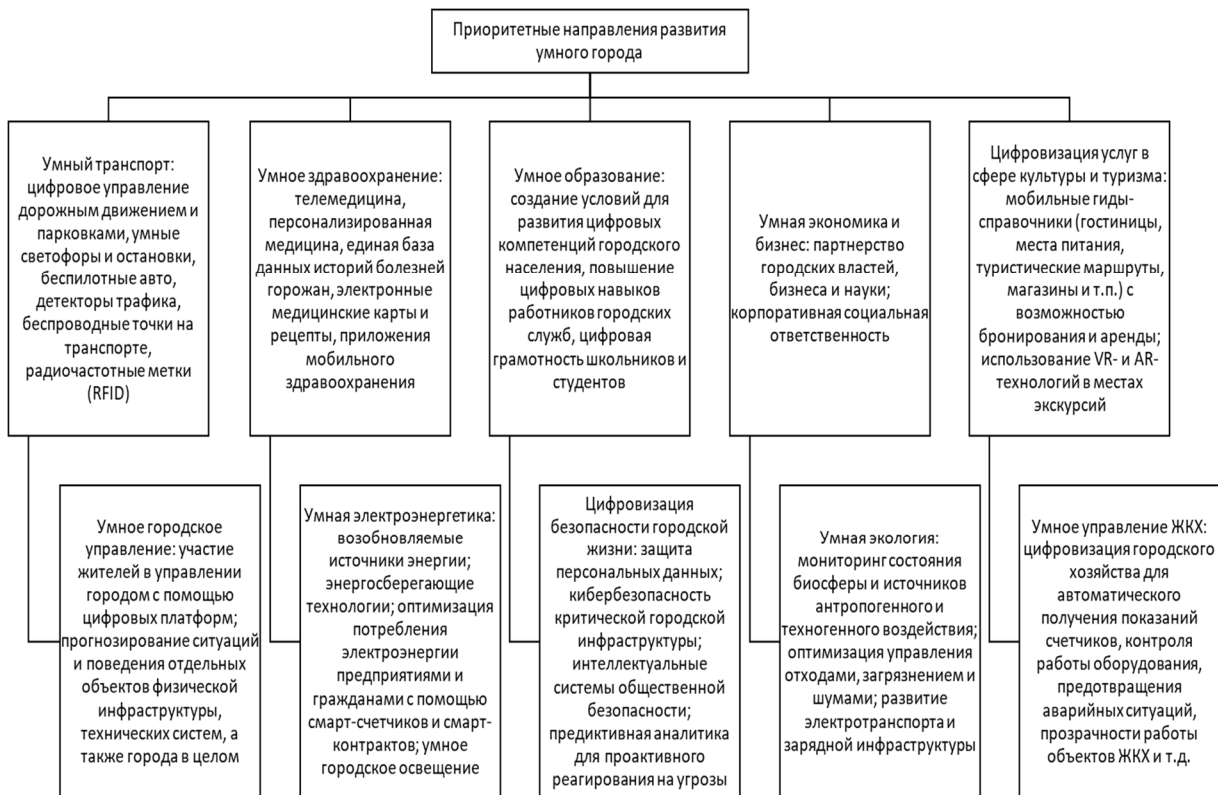


Рис. 3. Приоритеты умного города
Fig. 3. Smart-city priorities

Примечание. Собственная разработка. / Note. The author’s own development



Рис. 4. Цифровые технологии для функционирования умных городов
Fig. 4. Digital technologies for the functioning of smart cities

Примечание. Собственная разработка. / Note. The author's own development

3. Умные города с более высоким уровнем развития цифровых технологий, как правило, демонстрируют более сильную корреляцию с количеством новых рабочих мест, уровнем жизни, экономическим развитием и объемом привлеченных инвестиций, также они более пригодны для жизни и более привлекательны для квалифицированных специалистов и высокотехнологичных компаний. Так, британская столица, занявшая первое место в консенсус-рейтинге, в рекордном для венчурного финансирования 2020 г. стала мировым центром привлечения ПИИ. По данным Dealroom.com, лондонские технологические компании привлекли 10,5 млрд долл. для реализации 366 инновационных проектов, что составило четверть всего европейского технологического финансирования за год. Столица Великобритании продолжает оставаться центром инноваций мирового класса: согласно данным Бюро по патентам и товарным знакам США, в период с 2003 по 2020 г. в Лондоне было зарегистрировано почти 7 тыс. патентов на программное обеспечение и более чем 150 патентов в области искусственного интеллекта – больше, чем в любом другом городе. Кроме того, в столице Великобритании ежегодно обучаются более 370 тыс. студентов, там расположены 7 из 500 лучших университетов мира в области компьютерных наук и инженерии (согласно рейтингу QS World University Rankings), что подчеркивает привлекательность Лондона для квалифицированных талантов. Как глобальный финансовый центр, Лондон предлагает высокотехнологичным стартапам множество вариантов финансирования – от венчурных фондов и бизнес-ангелов до краудфандинговых платформ и банков (среди них отметим цифровые банки Revolut и Monzo). Данные Dun&Bradstreet показывают, что в городе имеется более чем 80 тыс. компаний в области программного обеспечения и ИКТ-услуг, что почти вдвое превышает количество компаний, зарегистрированных в любом другом европейском городе.

4. Рейтинги 2020–2021 гг. показывают, что умные города во всем мире продемонстрировали позитивную реакцию на пандемию COVID-19. Это объясняется прежде всего тем, что умный город оснащен хорошей цифровой инфраструктурой, а граждане и фирмы располагают большим количеством цифровых технологических решений, с помощью которых во время пандемии была создана безопасная и пригодная для жизни цифровая городская среда, что оказало профилактическое воздействие на сдерживание вирусной инфекции. Кроме того, умные города, оснащенные системами глобального позиционирования, цифровой идентификации граждан и воздушного наблюдения, стали эффективными площадками для разработки и реализации масштабных программ сдерживания инфекции и оказания адресной экономической и социальной помощи. Наконец, широкое внедрение цифровых технологий в умных городах позволило поддержать разрушаемые локдауном контакты между людьми, укрепить доверие между гражданами и муниципальными чиновниками, способствовало эффективному цифровому сотрудничеству государственного и частного секторов, предоставило возможность лучше координировать усилия по борьбе с COVID-19. Быстрый переход на цифровые технологии значительно повлиял на способность городов взять на себя новые обязанности и предложить инновационные решения для смягчения последствий беспрецедентной чрезвычайной ситуации, связанной с пандемией. В этом контексте умные города продемонстрировали большие возможности по мобилизации своих ресурсов, что имело столь важное значение для замедления распространения COVID-19. Умные мегаполисы, наиболее связанные с остальным миром, по многим показателям сильнее всего пострадали от пандемии, однако благодаря хорошо развитой цифровой инфраструктуре они также продемонстрировали большую устойчивость и стали основой для восстановления национальной экономики и адаптации общества к изменившемуся миру.

Заключение

Умный город – это комфортный город, оптимизировавший расходы ресурсов с помощью цифровых технологий и умного управления активами. Основной целью создания умных городов является формирование городской экосистемы, чувствительной к потребностям жителей и позволяющей повысить их социальную активность и качество жизни (удобство пользования городскими услугами и экономия времени).

Это требует создания условий в виде готовности цифровой инфраструктуры, регулятивной среды, цифровой готовности граждан и цифровых компетенций бизнеса, а также качества национальной инновационной системы (стартапы, венчурные фонды и т. п.). Приоритетные направления (сферы) для цифровизации города – городской транспорт, здравоохранение, образование, экономика и бизнес, энергетика и экология, культура и туризм, общественная безопасность граждан.

Анализ представленных рейтингов дополняет устоявшийся в научной литературе перечень основных общепринятых элементов и направлений развития умных городов новыми критериями и количественными показателями, отражающими цифровой прогресс городов и эффективность деятельности муниципальных органов в достижении намеченных целей городского развития.

Быстрое создание умных городов требует высочайшей квалификации городских властей и их направленности на стимулирование цифровизации всех перечисленных сфер городской жизни. Проведенное исследование позволяет заключить, что наиболее продвинутыми в развитии умных городов являются страны, которые входят в топ-30 по развитию цифровой экономики. А это значит, чем более цифровизована страна, тем более активно возникают и развиваются на ее территории умные города.

Умные города показали впечатляющие результаты в борьбе с COVID-19. Оказалось, что при одинаковых системах здравоохранения страны, придающие большее значение развитию умных городов, более устойчивы перед лицом пандемического кризиса. При этом умный город в условиях пандемии не только продемонстрировал быструю реакцию со стороны муниципалитета, но также создал больше технологических решений в направлении «снизу вверх», предоставляемых частным сектором.

Таким образом, наблюдается положительная обратная связь: цифровые технологии способствуют появлению и развитию умных городов, а последние, в свою очередь, становятся столицами цифровой экономики, локомотивами цифровой трансформации национальных экономик.

Список литературы

1. Глазьев С.Ю. Великая цифровая экономика: вызовы и перспективы для экономики XXI века. *Завтра*. 2017;37(1241):4-5.
2. Yin C.T., Xiong Z., Chen H., Wang J., Cooper D., David B. A literature survey on smart cities. *Science China Information Sciences*. 2015;58:1-18.
3. Lombardi P., Giordano S., Farouh H., Yousef W. Modelling the smart city performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*. 2012;25:137-149.
4. Immendoerfer A., Winkelmann M., Stelzer V. Energy Solutions for Smart Cities and Communities Recommendations for Policy Makers from the 58 Pilots of the CONCERTO Initiative: Technical Report. European Union; 2014. DOI: 10.2833/17772.
5. Головенчик Г.Г. Концепция «умный город»: генезис, приоритетные направления развития, проблемные аспекты и рейтинги. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2020;1:103-117.
6. Головенчик Г.Г. Эволюция подходов к измерению уровня глобализации стран. *Журнал Белорусского государственного университета. Экономика*. 2021;2:59-76.

References

1. Glazyev S.Y. The Great digital economy: challenges and prospects for the economy of the XXI century. *Tomorrow*. 2017; 37(1241):4-5.
2. Yin C.T., Xiong Z., Chen H., Wang J., Cooper D., David B. A literature survey on smart cities. *Science China Information Sciences*. 2015;58:1-18.
3. Lombardi P., Giordano S., Farouh H., Yousef W. Modelling the smart city performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*. 2012;25:137-149.
4. Immendoerfer A., Winkelmann M., Stelzer V. Energy Solutions for Smart Cities and Communities Recommendations for Policy Makers from the 58 Pilots of the CONCERTO Initiative: Technical Report. European Union; 2014. DOI: 10.2833/17772.
5. Golovenchik G.G. The concept of “smart city”: genesis, priority directions of development, problematic aspects and ratings. *Journal of the Belarusian State University. Economy*. 2020;1:103-117.
6. Golovenchik G.G. Evolution of approaches to measuring the level of globalization of countries. *Journal of the Belarusian State University. Economy*. 2021;2:59-76.

Сведения об авторах

Головенчик Г.Г., кандидат экономических наук, доцент кафедры международных экономических отношений Белорусского государственного университета.

Information about the authors

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

Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Ленинградская, 20,
Белорусский государственный университет;
тел. +375-44-710-69-05;
e-mail: galinagoloventchik@mail.ru
Головенчик Галина Геннадьевна

Address for correspondence

220030, Republic of Belarus,
Minsk, Leningradskaya st., 20,
Belarusian State University;
tel. +375-44-710-69-05;
e-mail: galinagoloventchik@mail.ru
Goloventchik Galina Gennad'evna



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-20-26>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.93

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ

Л.В. СЕРЕБРЯНАЯ^{1,2}

¹БИП – Университет права и социально-информационных технологий (г. Минск, Республика Беларусь)

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

Поступила в редакцию 13 января 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Рассмотрены особенности организации дистанционной формы обучения студентов в высшем учебном заведении, а также необходимые для этого информационно-образовательные технологии. Предложена система автоматического оценивания знаний студентов. В ее основу положена модель в виде искусственной нейронной сети. Приведены особенности такой модели. Реализовано два метода построения искусственных нейронных сетей, используемых в программном модуле тестирования знаний студентов. Обоснован выбор типа сети, ее структуры и параметров. Первый способ связан с построением искусственной нейронной сети в ручном режиме. Изложен алгоритм, отражающий итерационный процесс ее обучения. Во втором случае сеть строится автоматически путем применения генетического алгоритма. В начале работы на вход алгоритма поступает множество исходных данных, сформированное случайным образом. В ходе своей работы генетический алгоритм определяет архитектуру и параметры нейронной сети, обеспечивающие успешное решение поставленной прикладной задачи. Обученные сети используются для классификации данных. Обе сети показали приемлемую точность классификации результатов, полученных в ходе тестирования знаний студентов.

Ключевые слова: дистанционное обучение, искусственная нейронная сеть, многослойный персептрон, генетический алгоритм, классификация данных.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Серебряная Л.В. Методы построения искусственных нейронных сетей для классификации данных. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 20-26.

METHODS FOR CONSTRUCTING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR DATA CLASSIFICATION

LIYA V. SEREBRYANAYA^{1,2}

¹BIP – University of Law and Social Information Technologies (Minsk, Republic of Belarus)

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

Submitted 13 January 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The features of the organization of distance learning of students in a higher educational institution, as well as the information and educational technologies necessary for this, are considered. A system of automatic assessment of students' knowledge is proposed. It is based on a model in the form of an artificial neural network. The features of such a model are given. The two implemented methods for constructing artificial neural networks have been used in the software module for testing students' knowledge. The choice of the type of network, its structure, and parameters has been substantiated. The first method is related to the construction of an artificial neural network in the manual mode. An algorithm is presented that reflects the iterative process of its training. In the second case, the network is built automatically by applying a genetic algorithm. At the beginning of the work, a set of randomly generated initial data arrives at the input of the algorithm. In the course of its work, the genetic algorithm determines the architecture and parameters of the neural network, which ensure the successful solution of the assigned applied problem. Trained networks are used to classify data. Both networks showed acceptable classification accuracy of the results obtained in the course of the students' knowledge testing.

Keywords: distance learning, artificial neural network, multilayer perceptron, genetic algorithm, data classification.

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

For citation. Serebryanaya L.V. Methods for Constructing Artificial Neural Networks for Data Classification. Digital transformation. 2022; 28(1): 20-26.

Введение

В последнее время по известным причинам во всех сферах жизнедеятельности социума наравне с общением вживую, а часто и заменяя его, появляются различные формы виртуального взаимодействия людей. Эти формы не обошли стороной и образовательные процессы.

Поскольку уже имеется достаточно большой опыт дистанционной формы обучения, можно уверенно перечислить ее плюсы и минусы, понимая, что максимальных успехов удается достичь, сочетая традиционный и удаленный подходы к обучению. Отличием дистанционного обучения от традиционного является удаленность преподавателя от студента, отсутствие их непосредственного контакта в процессе обучения. В этом отношении традиционная форма обучения всегда будет иметь преимущество, какой бы совершенной ни была техническая основа передачи информации. Однако такие особенности удаленного обучения, как безопасность, доступность, гибкость, массовость, экономия ресурсов, постоянно повышают интерес к нему.

Для организации дистанционного обучения в высшем учебном заведении необходимы современные информационно-образовательные технологии, основу которых составляет математическое и программное обеспечение. Его созданию посвящена данная работа.

Особенности решения задач с помощью искусственной нейронной сети

Одним из основных этапов образовательного процесса является оценивание знаний студентов. При дистанционном обучении его стараются автоматизировать, освободив от технической работы преподавателей. Рассмотрим контрольно-оценочную систему знаний

студентов, которая может быть представлена в виде тестирования. В ходе него студенту предъявляются вопросы из различных разделов курса, соответствующие разным уровням сложности, после чего выставляется оценка его знаний. В статье в качестве модели, положенной в основу системы автоматического оценивания знаний студентов, предлагается использовать искусственную нейронную сеть (ИНС).

Постоянно расширяется круг задач, которые решаются с помощью машинного обучения. Работа ИНС также опирается на него, а результатом ее функционирования будут классификация и распознавание образов. ИНС в качестве модели выбрана вследствие ее универсальности, позволяющей использовать сеть для решения задач из любой прикладной области. Это обусловлено следующими свойствами данной модели.

1. *Обучение.* В ходе предъявления сети обучающих объектов, для которых известны выходные сигналы, происходит корректировка весовых коэффициентов ИНС, после чего она может распознавать тестовые образы.

2. *Обобщение.* Отклик сети после обучения может быть до некоторой степени нечувствителен к небольшим изменениям входных сигналов. Важно, что ИНС выполняет автоматически обобщение благодаря своей структуре.

3. *Абстрагирование.* Если на вход сети подать несколько искаженных вариантов входного образа, то благодаря свойствам 1 и 2 сеть сможет создать на выходе корректный образ, с которым она раньше никогда не встречалась.

Решение проблемы распознавания (классификации) образов с помощью ИНС состоит из двух процедур: обучения и непосредственно распознавания незнакомых образов [1–2].

Процесс поиска решения задачи с помощью сети, прошедшей обучение, оказывается более гибким, чем использование других вычислительных средств, поскольку ИНС может повышать точность результатов по мере накопления ею опыта и адаптироваться к происходящим изменениям.

Предложено два способа построения моделей ИНС.

Первый способ построения и обучения ИНС

Модуль тестирования знаний студентов реализован на основе одной из популярных архитектур ИНС – многослойного персептрона, его структура приведена на рис. 1.

Нейроны могут объединяться в сети различными способами, а количество слоев и нейронов в них может быть произвольным. Обычно во всех скрытых слоях одинаковое количество нейронов. В каждом слое выполняется нелинейное преобразование линейной комбинации сигналов предыдущего слоя.

Главная особенность работы с ИНС – это необходимость ее обучения, которое заключается в нахождении значений весовых коэффициентов связей между нейронами. Результат работы сети состоит в определении класса, которому принадлежит конкретный образ. Образец для обучения или обработки представляет собой вектор значений признаков объекта. При этом совокупность всех признаков объекта должна точно определять класс, к которому относится образ.

Топология сети строится так, чтобы количество нейронов в выходном слое соответствовало количеству классов, предусмотренных архитектурой ИНС. Для модуля тестирования количество классов определяется шкалой оценок, которые может получить студент. При этом должно быть установлено соответствие между значениями на выходном слое и номером определенного класса. Поэтому баллы, которые студенты набирают в ходе тестирования, попадают в определенный диапазон значений, а каждый диапазон связан с одним из классов в выходном слое ИНС и соответствует оценке студента.

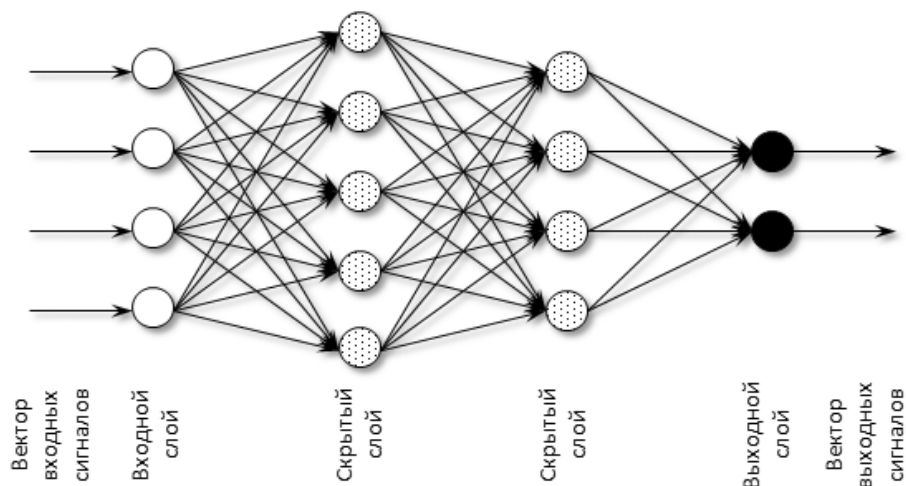


Рис. 1. Модель ИНС в виде перцептрона
Fig. 1. ANN model in the form of a perceptron

Для построения перцептрона необходимо выбрать вид функции активации, число слоев в сети и количество нейронов в каждом слое, задать диапазоны изменений всех переменных, учитывая множество значений выбранной функции активации. Параметрами ИНС являются пороговые значения и весовые коэффициенты [3–4].

Поскольку перцептрон обучается с учителем, должно быть задано обучающее множество пар векторов $\{x, d\}$, где x – условие задачи, d – известное решение для этого условия. В нашем случае множество входных данных – это тесты, состоящие из вопросов, каждый из которых относится к одному из разделов учебной дисциплины и имеет определенный уровень сложности, влияющий на результирующую оценку студента. Количество элементов в обучающем множестве должно быть достаточным для обучения сети, чтобы под управлением алгоритма сформировать набор параметров сети, дающий нужное отображение входного множества X в выходное множество Y . При этом количество элементов в обучающей выборке не регламентируется. В ходе обучения выбирается один из векторов обучающей выборки и подается на вход сети. На выходе получится некоторый вектор y . Тогда ошибкой сети можно считать $E = |d - y|$ для каждой пары (x, d) . Для оценки качества обучения выбирают суммарную квадратическую ошибку или среднюю относительную ошибку. Алгоритм обучения перцептрона можно представить следующим образом:

1. Инициализировать веса и параметры функции активации в малые ненулевые значения.
2. Подать на вход сети один образ и рассчитать выходное значение.
3. Посчитать ошибку E , сравнив d и y .
4. Изменить веса и параметры функции активации так, чтобы ошибка E уменьшилась.
5. Повторять шаги 2–4 до тех пор, пока ошибка не перестанет убывать или не станет достаточно малой.

Алгоритм обучения перцептрона называют алгоритмом обратного распространения ошибки [5]. Предполагается два прохода по всем слоям сети: прямой и обратный. При прямом проходе входной вектор подается на входной слой нейронной сети, после чего распространяется по сети от слоя к слою. В результате генерируется набор выходных сигналов, который и является реакцией сети на данный входной образ. Фактически решение задачи – это определение весовых коэффициентов вектора значений. Во время прямого прохода все веса сети фиксированы. В течение обратного прохода веса настраиваются в соответствии с правилом коррекции ошибок, а именно фактический выход сети вычитается из желаемого, в результате чего формируется сигнал ошибки (шаг 3 алгоритма). Этот сигнал впоследствии распространяется по сети в направлении, обратном направлению связей между нейронами. Весовые коэффициенты настраиваются с целью максимального приближения выходного сигнала сети к желаемому.

Достоинством алгоритма обратного распространения ошибки является его универсальность с точки зрения применения, т. к. обычно он используется для определения класса объекта, которому соответствует входной сигнал. Однако недостатком данного

алгоритма может оказаться неопределенно долгий процесс обучения и подбор всех параметров сети в ручном режиме.

Второй способ построения и обучения ИНС

В рамках второго способа фактически требуется построить ИНС, аналогичную полученной первым способом, только сеть строится автоматически путем применения генетического алгоритма [6]. Его цель – определить в ходе эволюции архитектуру и параметры ИНС, обеспечивающие успешное решение поставленной прикладной задачи. На рис. 2 показана схема работы генетического алгоритма, рассмотрим его этапы [7].

Генетический алгоритм работает с популяцией особей, в хромосоме каждой из которых закодировано возможное решение задачи. В начале работы алгоритма популяция формируется случайным образом, чему соответствует блок «Формирование начальной популяции». В блоке «Оценивание популяции» при помощи функции приспособленности, которая необходима для вычисления приспособленности каждой особи, оценивается качество закодированных решений. По результатам оценки особей наиболее приспособленные из них выбираются в блок «Селекция» для скрещивания. В блоке «Скрещивание» к выбранным особям применяется генетический оператор кроссинговера, и создается следующее поколение особей – потомство. Его генетическая информация формируется в результате обмена хромосомной информацией между родительскими особями. Созданные потомки формируют новую популяцию, причем часть потомков мутирует, что выражается в случайном изменении их генотипов в блоке «Мутация». Период, включающий в себя последовательность «Оценивание популяции» – «Селекция» – «Скрещивание» – «Мутация», называется поколением. Эволюция популяции состоит из последовательности таких поколений.

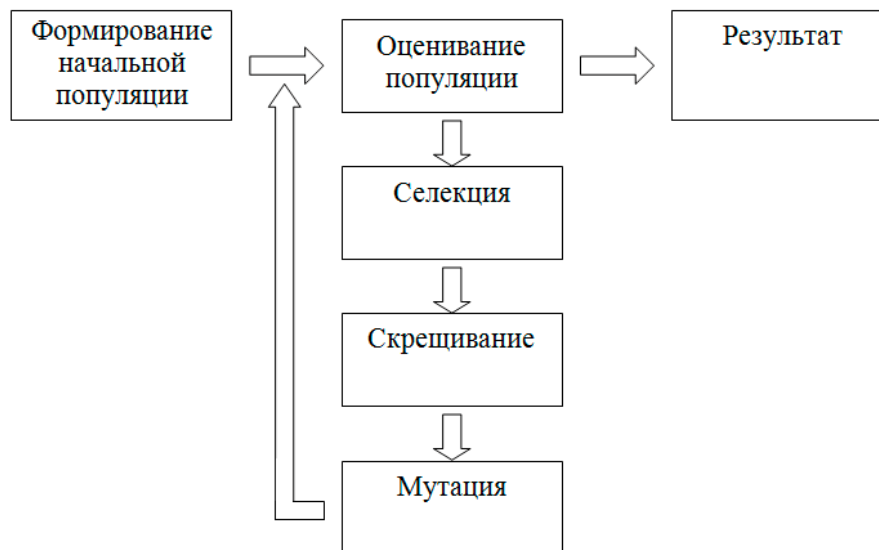


Рис. 2. Схема работы генетического алгоритма
Fig. 2. Scheme of the genetic algorithm

В большинстве случаев при решении какой-либо задачи с использованием ИНС ее параметры и архитектура подбираются экспериментальным путем. Это обусловлено тем, что каждая задача имеет свои уникальные особенности: данные, требуемый результат, желаемую обобщающую способность и т. д. Подбор оптимальных параметров сети является достаточно трудоемким процессом из-за ручного перебора и подгона. Для автоматизации построения сети может использоваться генетический алгоритм.

Для работы генетический алгоритм использует исходную выборку (популяцию), где гены каждой отдельной особи являются частным решением задачи отбора. Как правило, число генов у особи зависит от задачи и от желаемых параметров в реализуемой модели. В результате на основе генов каждой особи ставится в соответствие какая-то оценочная величина, которая показывает, насколько успешно данный элемент (особь) решает

поставленную задачу. Далее более приспособленные особи скрещиваются, полученные потомки формируют новую популяцию, которая впоследствии оценивается вышеприведенным образом. В ходе скрещивания двух особей за счет применения генетических операторов происходит обмен определенной частью генов, а получившиеся потомки обладают свойствами как одного, так и второго родителя.

Решение, найденное при помощи генетического алгоритма, может и не быть лучшим, но оно окажется близким к оптимальному. Указанная неточность окупается тем фактом, что вычислительная сложность алгоритма только косвенно зависит от сложности решаемой задачи. Для алгоритма нужны лишь начальная выборка, вид целевой функции, параметры для кодирования генотипа и ограничения, если они имеются. К основным особенностям таких алгоритмов можно отнести: возможность создания самообучающейся и самоорганизующейся системы, которая способна решать достаточно большой круг задач, а также широкие возможности адаптивного поведения в задачах классификации.

Поскольку количество слоев сети и нейронов в них будет определяться при помощи генетического алгоритма, необходимо уточнить последовательность и типы слоев в сети, а также создать начальную популяцию с заданными характеристиками.

Теоретический и практический опыт работы с архитектурами различных типов ИНС показал, что для сетей с небольшим количеством нейронов можно кодировать связи и веса нейронов, а для архитектур с большим числом элементов удобнее, чтобы кодировались отдельные слои и их конфигурации.

В работе были проверены оба способа кодирования. В случае скрещивания слоев двух родительских ИНС, состоящих из слоев разных типов, алгоритм может привести к генерированию сети, которая будет недействительна с точки зрения совместимости слоев между собой. Поэтому для предотвращения подобных ситуаций были введены ограничения на перемешивание слоев.

Под мутацией здесь понимается изменение структуры нейронной сети, т. е. добавление или удаление ее слоев и связей между нейронами. Как и в случае с алгоритмом скрещивания, алгоритм мутации также нуждается в определении правил изменения структуры сети, чтобы после мутации сеть сохраняла совместимость по всем связям между нейронами и слоями.

Для эксперимента была использована начальная популяция размером в 30 особей (сетей), а также 100 популяционных циклов для моделирования эволюционного процесса. Для каждой из особей вычислялась фитнес-функция. Она связана с построением нейронной сети из предложенных генов с последующим процессом обучения сети, после которого выводится значение метрики, оценивающей точность классификации.

Заключение

Результаты показали, что автоматически сгенерированная сеть уступает архитектуре, построенной вручную, на 17 % по точности классификации. Однако следует учитывать, что во втором случае построение выполнялось без участия экспертов предметной области. Поэтому подход автоматического построения сетей может применяться, например, для создания прототипов, где на первом месте стоит реализация работающей модели, а не ее качественные характеристики. Приемлемая точность классификации автоматически сгенерированной сети делает возможным использование генетических алгоритмов для решения большого круга задач распознавания образов.

Обе модели искусственных нейронных сетей, построенные как первым, так и вторым способом, могут использоваться в качестве программного обеспечения модуля автоматического тестирования знаний студентов.

Список литературы

1. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Москва: Горячая Линия-Телеком; 2007.
2. Николенко С.И., Кадурин А.А., Архангельская Е.О. Глубокое обучение. Санкт-Петербург: Питер; 2018.

3. Реза Б.З., Рамсундар Б. TensorFlow для глубокого обучения. Санкт-Петербург: BHV; 2019.
4. Серебряная Л.В., Третьяков Ф.И. Методы и алгоритмы принятия решений: учебно-методическое пособие по курсу «Методы и алгоритмы принятия решений» для студентов специальности «Программное обеспечение информационных технологий». Минск: БГУИР; 2016.
5. Метод обратного распространения ошибки [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.wikiwand.com/ru/Метод_обратного_распространения_ошибки. Дата доступа: 08.01.2022.
6. Серебряная Л.В., Бочкарев К.Ю., Попитич А.Я. Модель автоматической классификации и локализации образов. Цифровая трансформация. 2019;1(6):43-48. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-1-43-48>
7. Генетический алгоритм [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Генетический_алгоритм. Дата доступа: 08.01.2022.

References

1. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkovsky L. [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. M.:Hot Line-Telecom, 2007. (In Russ.)
2. Nikolenko S.I., Kadurin A.A., Arkhangel'skaya Ye.O. [Deep Learning]. St. Petersburg: Piter, 2018. (In Russ.)
3. Reza B.Z., Ramsundar B. [TensorFlow for deep learning]. St. Petersburg: BHV; 2019. (In Russ.)
4. Serebryanaya L.V., Tretyakov F.I. [Methods and algorithms for decision making: study guide for the course «Methods and algorithms for decision making» for students of the specialty «information technology software»]. Minsk: BSUIR; 2016. (In Russ.)
5. [Method of back propagation of errors]. Available at: https://www.wikiwand.com/ru/Method_back_propagation_bugs. Accessed: 08.01.2022. (In Russ.)
6. Serebryanaya L.V., Bochkarev K.Yu., Popitich A.Ya. [Model of automatic classification and localization of images]. Tsifrovaya transformatsiya = Digital transformation. 2019;1(6):43-48. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2019-1-43-48> (In Russ.)
7. [Genetic algorithm]. Available at: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Genetic_algorithm. Accessed: 08.01.2022. (In Russ.)

Сведения об авторах

Серебряная Л.В., заведующая кафедрой информационных технологий и математики «БИП – Университет права и социально-информационных технологий», к.т.н., доцент; доцент кафедры программного обеспечения информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Serebryanaya L.V., Head of the Department of Information Technologies and Mathematics «BIP – University of Law and Social Information Technologies», Cand. of Sci., Associate Professor; Associate Professor at the Information Technologies Software Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220004, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Короля, 3,
БИП – Университет права и социально-информационных технологий;
тел. +375-17-375-01-56;
220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники;
тел. +375-17-293-84-93;
e-mail: L_silver@mail.ru
Серебряная Лия Валентиновна

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Korolya st., 3,
BIP – University of Law
and Social Information Technologies;
tel. +375-17-375-01-56;
220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovka st., 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics;
tel. +375-17-293-84-93;
e-mail: L_silver@mail.ru
Serebryanaya Liya Valentinovna



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-27-38>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 681.324

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКИ НЕКЛОНИРУЕМОЙ ФУНКЦИИ ТИПА АРБИТР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЬЦЕВОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

А.Ю. ШАМЫНА, А.А. ИВАНЮК

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

Поступила в редакцию 26 сентября 2021

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Рассматривается возможность использования схемы кольцевого осциллятора для измерения задержек распространения сигналов через симметричные пути различных длин, реализованных на FPGA. Описывается создание экспериментальной установки и ход проведения экспериментов. Исследуется зависимость абсолютных значений задержек распространения сигналов и их статистических характеристик от количества блоков симметричных путей. Рассчитываются метрики стабильности и межкристальной уникальности на основе полученных экспериментальных данных измерений задержек. Подтверждается улучшение характеристик стабильности и уникальности значений задержек с увеличением длины симметричных путей АФНФ.

Ключевые слова: физическая криптография, физически неклонированные функции, кольцевой осциллятор, физически неклонированная функция типа арбитр.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Шамына А.Ю., Иванюк А.А. Исследование временных параметров физически неклонированной функции типа арбитр с использованием кольцевого осциллятора. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 27-38.

INVESTIGATION OF THE TIMING PARAMETERS OF THE ARBITER-BASED PHYSICALLY UNCLONABLE FUNCTION USING A RING OSCILLATOR

ARTSIOM YU. SHAMYNA, ALEXANDER A. IVANIUK

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

Submitted 26 September 2021

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The possibility of using a ring oscillator circuit for measuring the propagation delays of signals through symmetrical APUF paths of various lengths implemented on an FPGA is considered. The creation of the experimental setup and the course of the experiments are described. The dependence of the absolute values of the signal propagation delays and their statistical characteristics on the number of blocks of the symmetric paths under study is investigated. The metrics of stability and intercrystalline uniqueness are calculated based on the obtained experimental data of delay measurements. The improvement of APUF stability and uniqueness depending on the length of the symmetric paths is confirmed.

Keywords: physical cryptography, physically unclonable functions, ring oscillator, arbiter-based physically unclonable function.

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

For citation. Shamyna A.Yu, Ivaniuk A.A. Investigation of the Timing Parameters of The Arbiter-Based Physically Unclonable Function Using a Ring Oscillator. Digital transformation. 2022; 28(1): 27-38.

Введение

Оценка задержек распространения сигналов по путям цифровых устройств имеет важное значение при их проектировании. От этого напрямую зависит надежность устройств и стабильность их характеристик в заданных режимах работы. Однако следует отметить невозможность создания нескольких устройств с идентичными характеристиками, в том числе и характеристикой распространения сигналов через одинаковые по своей функциональности и топологии составные части [1–3]. Это обусловлено несовершенством производственного процесса, а также физическими вариациями материалов, используемых при их производстве. Данный факт осложняет процесс массового тиражирования устройств, поэтому на практике часто используют консервативные модельные оценки задержек, которые на основе усредненных значений и некоторых допущений позволяют получить значение задержки по некоторому пути цифрового устройства, а также пренебречь их естественными флуктуациями при производстве конкретных экземпляров. Следует отметить, что у уникальности задержек по фиксированным путям от устройства к устройству есть практическое применение. Например, это явление лежит в основе функционирования многих видов физически неклонированных функций (ФНФ) [4]. На этом принципе строятся такие виды ФНФ как ФНФ типа арбитр, ФНФ на базе кольцевых осцилляторов, комбинированные ФНФ и др. [5–10]. Однако при реализации цифровых схем с использованием современных технологий прямые измерения задержек осложнены, а использование методов оценок разниц задержек, например, на основе D-триггера, как в случае ФНФ типа арбитр, позволяет оценить лишь временную разницу фиксации фронтов тестового импульса и не позволяет перейти к абсолютным значениям. Более того, в таком случае проявляется негативный эффект метастабильности D-триггера, который возникает при нарушении условий удержания и предустановки входных сигналов. Данное явление может снизить достоверность оценки задержек для выбранного пути цифрового устройства.

По мнению авторов, более подходящим для детального исследования задержек распространения сигналов по фиксированному пути является подход, основанный на принципе работы кольцевого осциллятора (КО) и охвате исследуемого пути Path отрицательной обратной связью, когда частота формируемой им импульсной последовательности зависит от суммарных задержек элементов, входящих в ее состав. Кроме этого, при измерении частоты импульсов, формируемых КО, счетчиком Counter можно пренебречь величиной задержки соединительного проводника от выхода КО до входа счетчика, чего сложно добиться при использовании других схем оценки задержек. В цепь обратной связи добавлен двухвходовой элемент 2И-НЕ для обеспечения возможности управления режимом КО схемы, а также обеспечения инверсии проходящего через нее сигнала. Для управления окном измерения и выработки сигнала разрешения функционирования кольцевого генератора START используется компонент Control unit. При подаче высокого уровня сигнала START схема переходит в режим осцилляции и формирует импульсную последовательность на выходе RO_OUT, которая подается на синхронный вход счетчика Counter. После эксперимента данные измерения снимаются

с выходной шины D_OUT счетчика Counter. Обобщенно рассматриваемое решение схематично представлено на рис. 1.

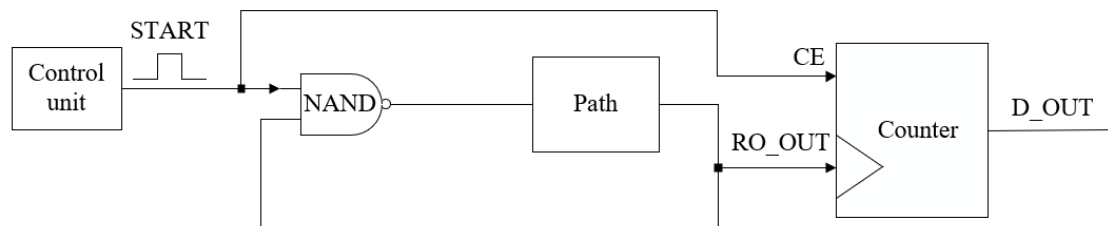


Рис. 1. Схема измерения задержек распространения сигналов на основе КО

Fig. 1. Circuit scheme for measuring signal propagation delays based on Ring Oscillator

В настоящей работе исследуются задержки распространения сигналов по двум симметричным путям ФНФ типа арбитр (АФНФ) с использованием подхода на базе КО, описанного выше. Анализируется зависимость характеристик задержек от количества базовых элементов в исследуемом пути цифрового устройства.

Построение экспериментальной установки для исследования

В данной работе исследуются задержки распространения сигналов по двум симметричным путям АФНФ с использованием подхода на базе КО [9]. Для этого была изменена классическая схема блока симметричных путей АФНФ, которая представляет собой два конфигурируемых пути. В частности, выходы последнего блока были соединены через элементы И-НЕ со входами первого блока для создания цепей обратной связи КО, а также возможности управления ими. Конфигурация путей осуществляется подачей на схему n -разрядного вектора запроса $C_i = c_0 c_1 c_2 \dots c_{n-1}$, где $c_j \in \{0, 1\}$, $j \in \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$. Уникальность конфигураций путей для каждого C_i запроса достигается благодаря прямой передаче сигнала через звено симметричных путей $Link_j$ при $c_j = 0$ и перекрестной при $c_j = 1$ соответственно. Включение режима осциллятора для схемы происходит путем подачи высокого уровня сигнала $Start$, который удерживается фиксированное время D_s для каждого запроса. Для измерений формируемых частот двух полученных КО используются два синхронных 32-разрядных счетчика $Counter$, которые работают то же фиксированное время D_s , что и удерживается режим работы КО для исследуемой схемы (рис. 2).

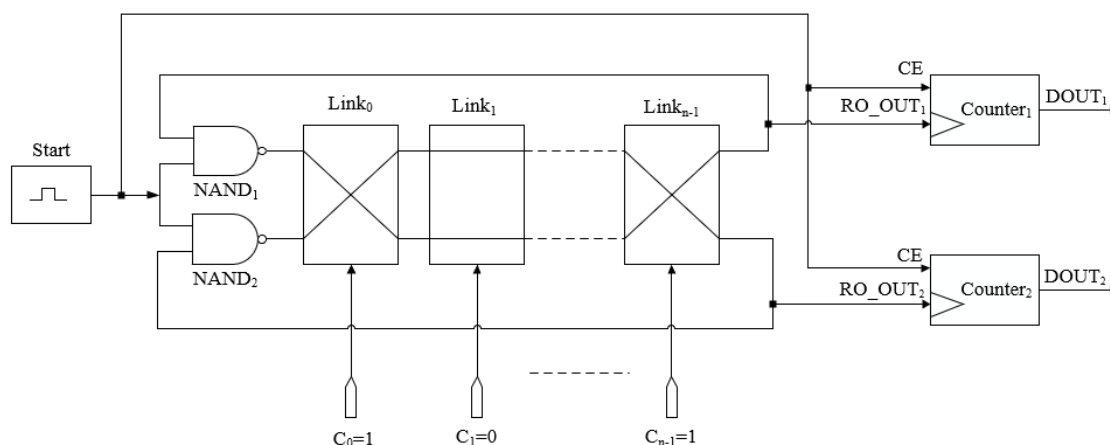


Рис. 2. Схема измерения задержек распространения сигналов через симметричные пути на основе КО

Fig. 2. Circuit scheme for measuring signal propagation delays through symmetric paths based on Ring Oscillator

Однако схема, представленная на рис. 2, имеет недостаток, который осложняет измерения задержек путей АФНФ. Предположим, что при некотором запросе будет нечетное количество блоков с перекрестной передачей сигналов. Тогда выход элемента $NAND_1$ будет соединен со входом элемента $NAND_2$ и наоборот, что значительно удлиняет охватываемый обратной связью путь, а также делает невозможным функционирование КО из-за четного количества инверторов в схеме. Таким образом, в случае соответствия перекрестной передаче тестовых сигналов через звено $Link_j$ значению запроса $C_j = 1$ при нечетном количестве таких разрядов в запросе предложенная схема не позволяет измерять задержки.

Для измерения задержек путей схемы, соответствующим любым запросам, а не только с четным количеством $C_j = 1$, описанная выше схема была модифицирована добавлением в блок симметричных путей корректирующего звена $Link_n$. Значение управляющего сигнала для этого блока определяется не разрядом запроса, а результатом операции суммы по модулю 2 всех значений разрядов текущего запроса. Такой подход позволяет обеспечить работу двух независимых КО в исследуемой схеме при любом значении запроса. Вносимые дополнительным блоком задержки принципиально не изменяют вычисляемых характеристик суммарных задержек. Модифицированная схема представлена на рис. 3.

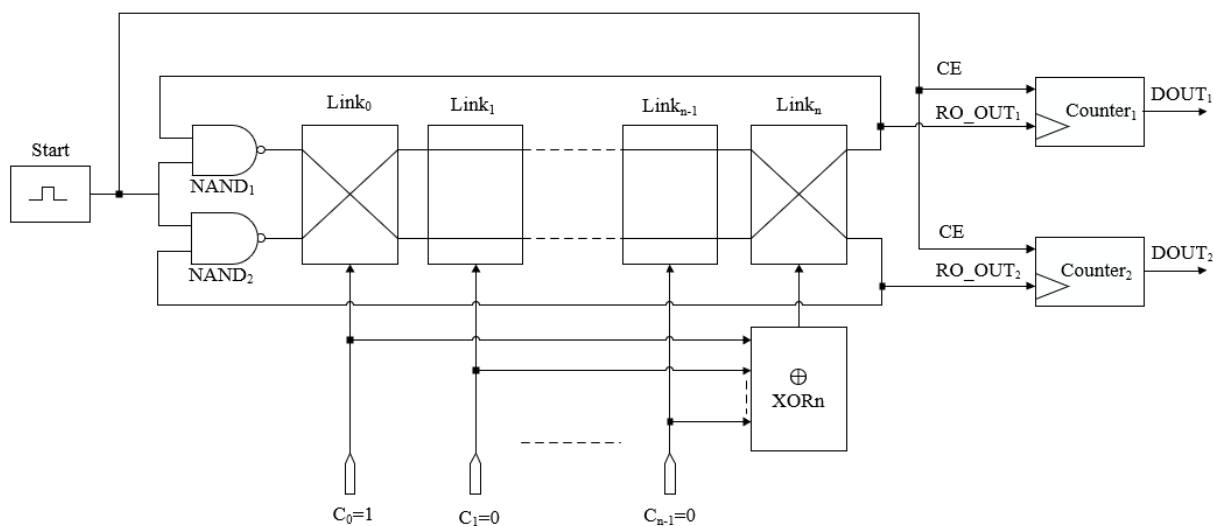


Рис. 3. Модифицированная схема измерения задержек распространения сигналов через симметричные пути на основе КО

Fig. 3. Modified circuit scheme for measuring signal propagation delays through symmetric paths based on Ring Oscillator

Управлением экспериментом осуществлялось с использованием устройства управления *FSM* и софт-процессора *Microblaze*. Устройство управления использовалось для генерации управляющих сигналов подчиненных устройств в соответствии со своим состоянием, устанавливаемым *Microblaze*. Также с его помощью на уровне программного кода осуществлялась генерация запросов, происходило считывание значений регистров счетчиков экспериментальной установки, а также выполнялась передача данных на ПК. Кроме самостоятельно созданных VHDL-модулей были использованы стандартные IP-ядра для обеспечения поддержки передачи данных через UART-интерфейс и взаимодействия софт-процессора с другими компонентами через GPIO (рис. 4).

Проектное описание экспериментальной установки было создано на языке VHDL в САПР Vivado 2018.2. Написание программного кода для *Microblaze*, а также его отладка выполнялась средствами Xilinx SDK. Конфигурация всех FPGA выполнялась с использованием одного битового образа, сгенерированного Vivado 2018.2. Программирование FPGA осуществлялось с использованием Hardware Manager среды Vivado 2018.2.

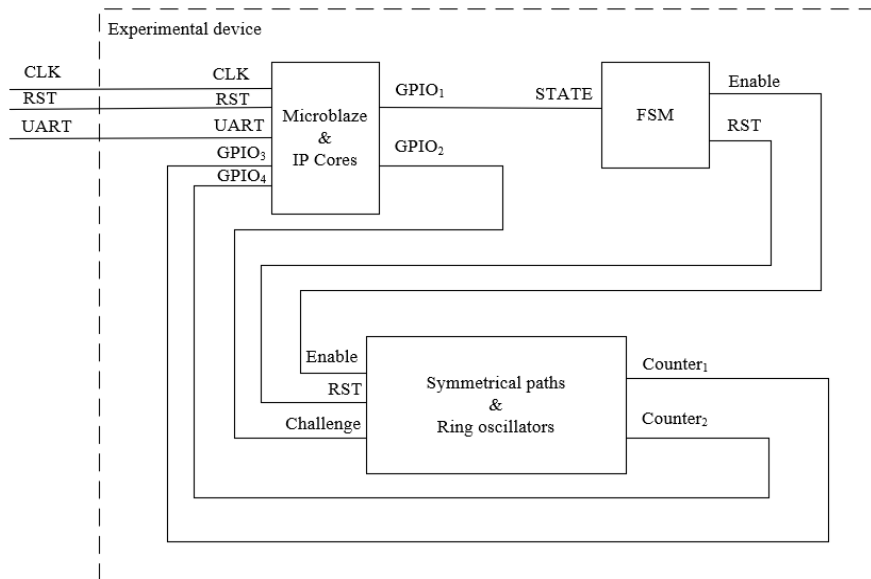


Рис. 4. Экспериментальное устройство
Fig. 4. Experimental device

Основной целью работы являлось исследование зависимости характеристик задержек распространения сигналов через симметричные пути АФНФ от количества элементов, поэтому серия экспериментов была проведена для нескольких конфигураций симметричных путей с различным количеством N звеньев, где $N \in \{8-20, 32, 64, 128\}$. Для конфигураций с длинами $N \in [8;20]$ были поданы все 2^N запросов. Генерация запросов для длин путей $N \in \{32, 64, 128\}$ осуществлялась с использованием генератора псевдослучайной последовательности на основе сдвигового регистра с линейной обратной связью (LFSR). Для каждой конфигурации было проведено $C = 10^6$ измерений. Все эксперименты были повторены $E = 10$ раз. Эксперименты проводились на $M = 5$ платах быстрого прототипирования Digilent Nexys 4 с FPGA Xilinx Artix 7 (xc7a100tcs324-1), изготовленных по технологическому процессу 45 нм. Для одновременной работы с несколькими платами использовался USB-хаб с активным питанием Sipolar A-423. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 5.

Создание проектного описания, управление ходом проведения экспериментов и запись их результатов выполнялись на персональном компьютере *Host PC*. Запись в текстовые файлы экспериментальных данных с COM-портов осуществлялась с использованием ПО Tera Term. Для дальнейшей обработки экспериментальных данных и расчета полученных значений было создано консольное приложение на языке C# в IDE Visual Studio 2019.

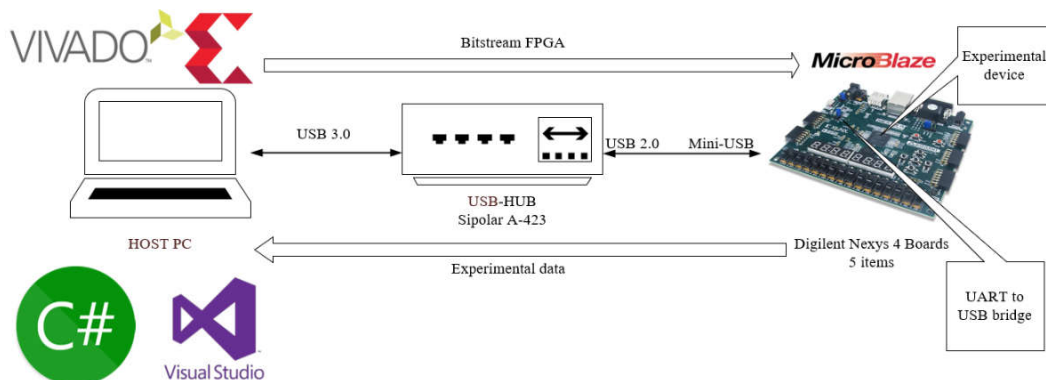


Рис. 5. Экспериментальная установка
Fig. 5. Experimental setup

Интерпретация данных эксперимента

Запись в файле данных эксперимента представляет собой значения двух счетчиков, которые соответствуют количеству зарегистрированных передних фронтов генерируемых импульсных последовательностей КО для каждого измерения. Опираясь на эти значения, а также на факт того, что КО генерирует сигнал в виде меандра, можно выразить величину задержки

$$D_i = \frac{D_s}{2N_i}, \quad (1)$$

где D_s – время работы КО;

N_i – значение счетчика для i -го измерения.

Согласно формуле (1) были рассчитаны значения задержек для каждого измерения. После этого для каждой конфигурации были вычислены характеристики математического ожидания, среднеквадратичного отклонения, относительной девиации и мод значений задержек двух КО, построенных на функционально симметричных путях FPGA. Полученные результаты представлены в табл. 1. Также для каждой конфигурации были найдены минимумы и максимумы задержек. Зависимость разницы значений минимума и максимума задержек для RO_1 и RO_2 $\Delta(\text{Max}, \text{Min})$ от N представлена на рис. 6.

Таблица 1. Статистические характеристики задержек распространения через симметричные пути FPGA различной длины

Table 1. Statistical characteristics of propagation delays through symmetrical FPGA paths of various lengths

N	μ_1 , нс	σ_1 , нс	σ_1/μ_1 , %	Mo_1 , нс	μ_2 , нс	σ_2 , нс	σ_2/μ_2 , %	Mo_2 , нс
8	4,05	0,27	0,07	4,02	3,71	0,27	0,07	3,66
9	4,07	0,31	0,08	4	3,75	0,31	0,08	3,91
10	4,93	0,21	0,04	4,96	4,97	0,22	0,04	4,99
11	4,87	0,28	0,06	4,97	4,60	0,28	0,06	4,70
12	5,44	0,23	0,04	5,43	5,41	0,23	0,04	5,33
13	5,89	0,24	0,04	5,97	6,07	0,28	0,05	6,11
14	7,11	0,29	0,04	7,16	6,75	0,28	0,04	6,76
15	6,47	0,38	0,06	6,56	6,51	0,33	0,05	6,59
16	7,53	0,35	0,05	7,63	7,50	0,35	0,05	7,54
17	6,85	0,43	0,06	6,99	6,96	0,43	0,06	7,09
18	7,85	0,41	0,05	7,95	7,77	0,41	0,05	7,89
19	7,47	0,45	0,06	7,59	7,51	0,49	0,06	7,59
20	9,25	0,40	0,04	9,26	8,78	0,42	0,05	8,87
32	12,25	0,58	0,05	12,29	12,07	0,59	0,05	12,13
64	23,71	0,78	0,03	23,82	23,77	0,78	0,03	23,83
128	48,95	1,04	0,02	49,01	49,08	1,05	0,02	49,16

Согласно полученным результатам прослеживается увеличение окна значений задержек с увеличением N , что потенциально улучшает характеристики ФНФ.

Распределения временных задержек для всех исследуемых конфигураций были близки к нормальному. В качестве примера приводится график распределения временных задержек для конфигурации $N = 128$ (рис. 7).

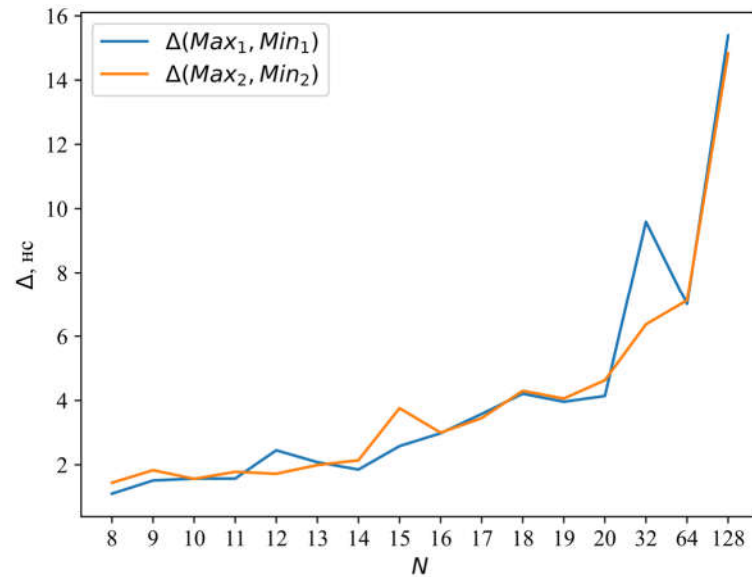


Рис. 6. Зависимость разниц максимального и минимального значения задержек от длины симметричных путей

Fig. 6. Dependence of the differences between the maximum and minimum values of delays on the length of symmetric paths

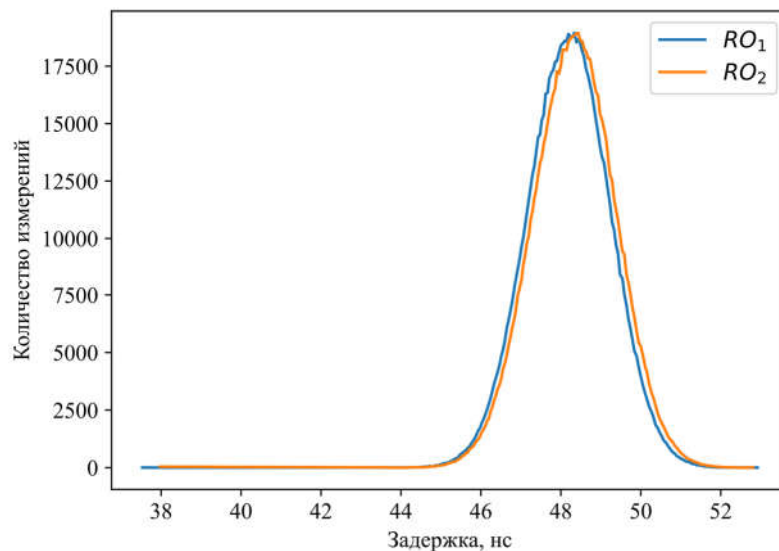


Рис. 7. Временное распределение задержек для конфигурации $N = 128$

Fig. 7. Time distribution of delays for configuration $N = 128$

Для оценки зависимости асимметричности распределения задержек от длины исследуемых путей был рассчитан коэффициент асимметрии Пирсона, график которого отображен на рис. 8.

График распределения задержек $N = 128$ демонстрирует практически идентичное распределение измерений для RO_1 и RO_2 . Небольшой сдвиг графика RO_2 относительно RO_1 может быть обусловлен, например, большей задержкой петли обратной связи RO_2 , т. к. эта часть RO является неизменной при всех измерениях и вносит постоянную задержку. Для RO_1 и RO_2 величина этой задержки будет принципиально разной, но неизменной для всех измерений. Значения асимметрии распределений задержек имеют тенденцию снижения с увеличением значения N , что может свидетельствовать о потенциальном улучшении статистических характеристик ФНФ с ростом N .

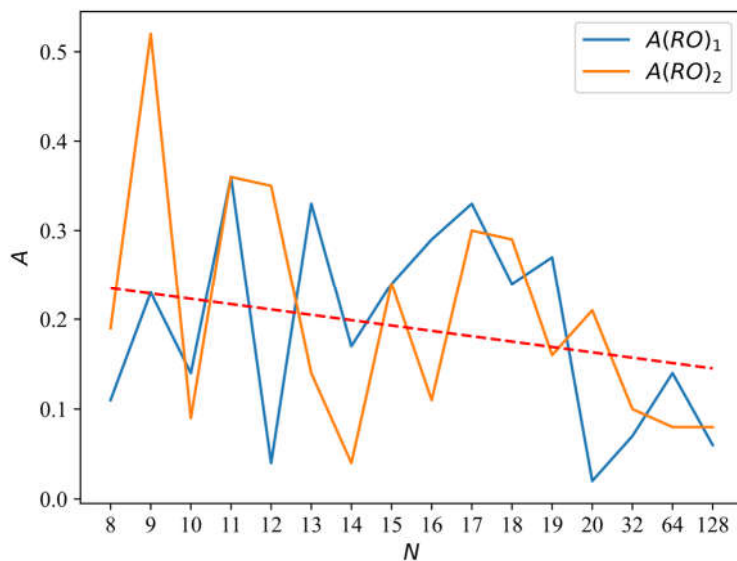


Рис. 8. Зависимость коэффициента асимметрии A распределения значений задержек от длины симметричных путей

Fig. 8. Dependence of the skewness coefficient (factor) A of the distribution of delay values on the length of symmetric paths

Затем были оценены взаимные значения двух счетчиков для конкретного измерения. Если значения оказывались равны, то измерения относилось к классу «х», если значение первого было меньше, чем значение второго счетчика, – к классу «1», и если наоборот – к классу «0». Поскольку измерения для конфигураций с длинами $N \in [8;20]$ проводились для всего множества запросов и эксперимент проводился на 5 устройствах и повторялся 10 раз, то сумма элементов всех классов измерения для каждой реализации должна быть равна $5 \cdot 10 \cdot 2^N$. В свою очередь для конфигураций с длинами $N \in \{32, 64, 128\}$ количество запросов было фиксированным и составляло $C = 10^6$. Полученные результаты отображены в виде гистограмм (рис. 9, 10).

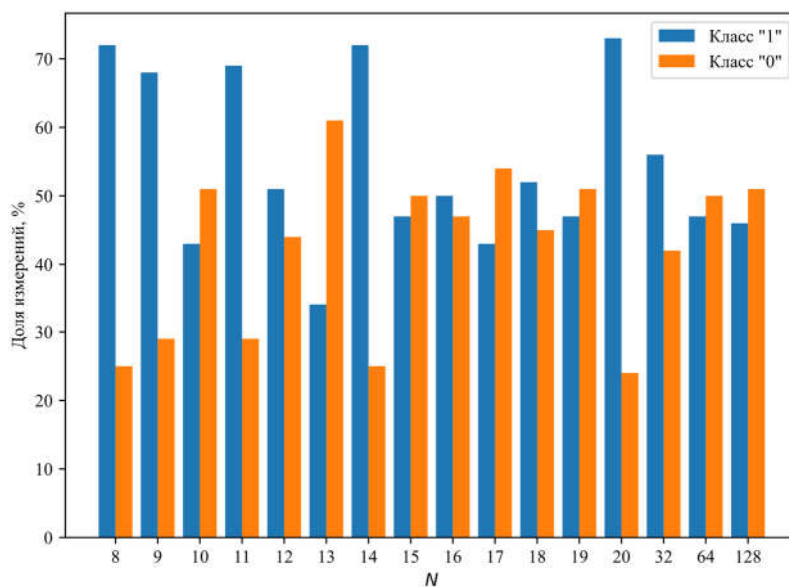


Рис. 9. Доля измерений классов «1» и «0»

Fig. 9. Percentage of measures of classes "1" and "0"

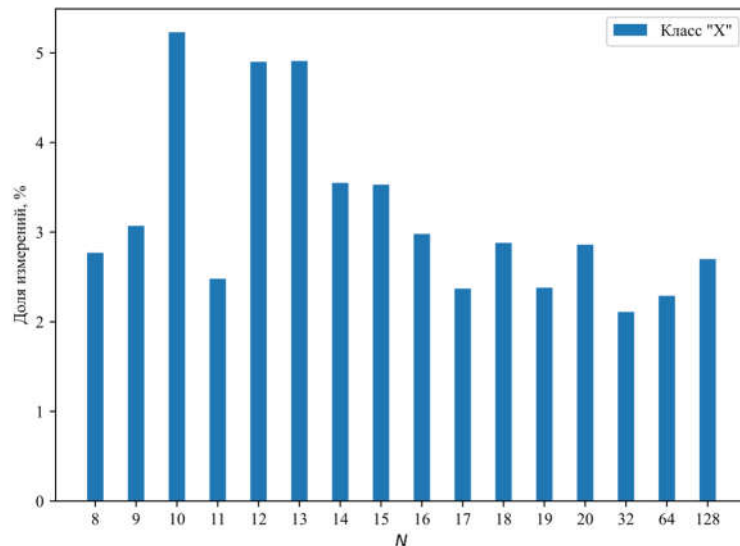


Рис. 10. Доля измерений класса «x»
Fig. 10. Percentage of measures of class “x”

Кроме этого, была рассчитана характеристика стабильности получаемых задержек, выраженная в доле стабильных измерений от общего количества. Под стабильным понимался такой запрос, при многократном повторении которого либо значения двух счетчиков постоянно совпадали, либо значение первого всегда было больше второго, либо наоборот (рис. 11).

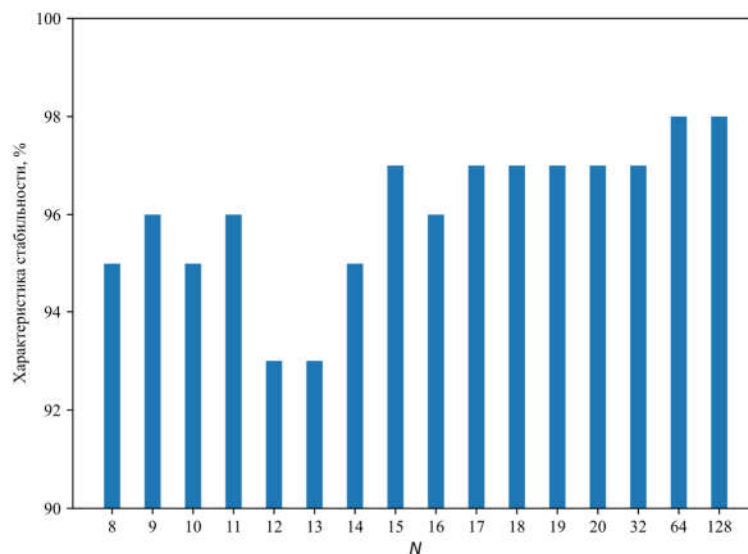


Рис. 11. Гистограмма характеристики стабильности
Fig. 11. Stability characteristic histogram

После сбора данных с нескольких плат, были рассчитаны значения характеристик уникальности. Причем уникальность оценивалась как отдельно для значений каждого счетчика (2), так и для разности их значений (4), а также уникальности результатов сравнения измерений для двух счетчиков и отнесения ответа к одному из трех классов при фиксированных запросах (5).

$$U = \frac{1}{C} \sum_{u=1}^C \text{Uniq}(R_{u0}, R_{u1}, \dots, R_{um-1}), \quad (2)$$

где C – количество запросов; m – количество экземпляров; R_{um} – значение счетчика *Counter* при запросе с индексом u на экземпляре устройства с индексом m .

$$Uniq(\{Z\}) = \begin{cases} 1, & \text{если все элементы множества } Z \text{ уникальны} \\ 0, & \text{если имеется хотя бы два одинаковых элемента множества } Z \end{cases} \quad (3)$$

$$U_{\Delta} = \frac{1}{C} \sum_{u=1}^C Uniq(\{\Delta(R_{1u0}, R_{2u0}), \Delta(R_{1u1}, R_{2u1}), \dots, \Delta(R_{1um-1}, R_{2um-1})\}), \quad (4)$$

где C – количество запросов; m – количество экземпляров; R_{1um} и R_{2um} – значения счетчиков $Counter_1$ и $Counter_2$ соответственно при запросе с индексом u на экземпляре устройства с индексом m .

$$U_{cmp} = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C \frac{2}{m(m-1)} \sum_{u=1}^{m-1} \sum_{v=u+1}^m HD(CMP(R_{1iu}, R_{2iu}), CMP(R_{1iv}, R_{2iv})), \quad (5)$$

где C – количество запросов, m – количество экземпляров, R_{1im} и R_{2im} – значения счетчиков $Counter_1$ и $Counter_2$ соответственно при запросе с индексом i на экземпляре устройства с индексом m .

$$CMP(Value_0, Value_1) = \begin{cases} X, & \text{если } Value_0 = Value_1 \\ 1, & \text{если } Value_0 > Value_1 \\ 0, & \text{если } Value_0 < Value_1 \end{cases} \quad (6)$$

Расстояние Хэмминга HD для тернарных одноразрядных векторов определяется согласно табл. 2.

Таблица 2. Расстояние Хэмминга для тернарных одноразрядных векторов
Table 2. Hamming distance for ternary one-bit vectors

Значение	0	1	X
0	0	1	0,5
1	1	0	0,5
X	0,5	0,5	0

Полученные метрики уникальности абсолютных значений измерений для всех исследуемых конфигураций симметричных путей АФНФ $U(RO_1)$ и $U(RO_2)$ составили 0,99. Характеристика уникальности значений разниц измерений для двух счетчиков при фиксированных запросах U_{Δ} оказалась равна 0,78. Метрика уникальности отнесения взаимных значений счетчиков к классам «1», «0» либо «x» U_{cmp} имела значение 0,01.

Заключение

Полученные результаты подтверждают зависимость характеристик задержек распространения сигналов по симметричным путям на ИС от количества составных элементов. Абсолютные значения математического ожидания, статистических мод, максимума и минимума измеренных задержек линейно возрастают с увеличением количества звеньев N . Также при увеличении N повышаются значения СКО и увеличивается стабильность измерений. Асимметрия значений статистических характеристик для двух независимых КО одной конфигурации подтверждает тезис о невозможности построения идеально симметричных путей на FPGA [11]. Кроме этого, уменьшается разность между количеством измерений, отнесенных к классам «больше» и «меньше», что потенциально повышает случайность ФНФ, а также снижается доля измерений класса «равны». Рассчитанные характеристики межкристальной уникальности свидетельствуют о высокой уникальности абсолютных значений задержек при фиксированных запросах от устройства к устройству, а также уникальности значений их разностей. Однако при использовании схемы выработки ответа, аналогичной классической АФНФ, основанной на фиксации разниц прохождения фронтов тестовых сигналов через симметричные пути с использованием в качестве арбитра D -триггера, и последующего расчета метрики уникальности значения оказались крайне низкими (около 1 %). Это говорит о потенциально низкой межкристальной уникальности классической АФНФ, построенной

с соответствующей длиной путей для данной технологии. Потенциально ФНФ, построенные на основе симметричных путей с большим количеством элементов, будут обладать лучшими свойствами по сравнению с аналогичными ФНФ с меньшим количеством элементов.

В дальнейшем планируется продолжить исследования временных параметров симметричных путей АФНФ. В частности, провести аналогичные эксперименты на других платах с другими кристаллами FGA, изучить влияние размера окна измерений на получаемые значения. Также для анализа задержек распространения сигналов по пути цифрового перспективным представляется применение подходов, используемых при построении времяизмерительных систем TDC (time to digital converter).

Список литературы

1. Agarwal A., Blaauw D., Zolotov V. Statistical Timing Analysis for Intra-Die Process Variations with Spatial Correlations. ICCAD-2003. International Conference on Computer Aided Design. 2003:900-907. DOI: 10.1109/ICCAD.2003.159781.
2. Böhm C., Hofer M. Physical Unclonable Functions in Theory and Practice. New York: Springer Science+Business Media; 2013.
3. Wang Y., Wang C., Gu C. Theoretical Analysis of Delay-based PUFs and Design Strategies for Improvement. 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). 2019:1-5. DOI: 10.1109/ISCAS.2019.8702722.
4. Rührmair U., Schröder H., Katzenbeisser S. Strong PUFs: Models, Constructions, and Security Proofs. Towards Hardware-Intrinsic Security. 2010:79-96. DOI: 10.1007/978-3-642-14452-3_4.
5. Lee J.W., Lim D., Gassend B. A technique to build a secret key in integrated circuits for identification and authentication applications. Symposium on VLSI Circuits. Digest of Technical Papers (IEEE Cat. No.04CH37525). 2004:176-179. DOI: 10.1109/VLSIC.2004.1346548.
6. Ozturk E., Hammouri G., Sunar B. Physical unclonable function with tristate buffers. 2008 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. 2008:3194-3197. DOI: 10.1109/ISCAS.2008.4542137.
7. Chen Q., Csaba G., Lugli P. The Bistable Ring PUF: A new architecture for strong Physical Unclonable Functions. 2011 IEEE International Symposium on Hardware-Oriented Security and Trust. 2011:134-141. DOI: 10.1109/HST.2011.5955011.
8. Suh G.E., Devadas S. Physical unclonable functions for device authentication and secret key generation. Proceedings of the 44th annual Design Automation Conference. 2007:9-14. DOI: 10.1145/1278480.1278484.
9. Ярмолик В.Н., Вашилко Ю.Г. Физически неклонируемые функции. Информатика. 2011;2(30):92-103.
10. Иванюк А.А., Заливако С.С. Физическая криптография и защита цифровых устройств. Доклады БГУИР. 2019;2(120):50-58.
11. Yu H., Xu Q., Leong P.H.W. Fine-grained characterization of process variation in FPGAs. 2010 International Conference on Field-Programmable Technology. 2010:138-145. DOI: 10.1109/FPT.2010.5681770.

References

1. Agarwal A., Blaauw D., Zolotov V. Statistical Timing Analysis for Intra-Die Process Variations with Spatial Correlations. ICCAD-2003. International Conference on Computer Aided Design. 2003:900-907. DOI: 10.1109/ICCAD.2003.159781.
2. Böhm C., Hofer M. Physical Unclonable Functions in Theory and Practice. New York: Springer Science+Business Media; 2013.
3. Wang Y., Wang C., Gu C. Theoretical Analysis of Delay-based PUFs and Design Strategies for Improvement. 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). 2019:1-5. DOI: 10.1109/ISCAS.2019.8702722.
4. Rührmair U., Schröder H., Katzenbeisser S. Strong PUFs: Models, Constructions, and Security Proofs. Towards Hardware-Intrinsic Security. 2010:79-96. DOI: 10.1007/978-3-642-14452-3_4.
5. Lee J.W., Lim D., Gassend B. A technique to build a secret key in integrated circuits for identification and authentication applications. Symposium on VLSI Circuits. Digest of Technical Papers (IEEE Cat No.04CH37525). 2004:176-179. DOI: 10.1109/VLSIC.2004.1346548.
6. Ozturk E., Hammouri G., Sunar B. Physical unclonable function with tristate buffers. 2008 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. 2008:3194-3197. DOI: 10.1109/ISCAS.2008.4542137.
7. Chen Q., Csaba G., Lugli P. The Bistable Ring PUF: A new architecture for strong Physical Unclonable

- Functions. 2011; IEEE International Symposium on Hardware-Oriented Security and Trust. 2011:134-141. DOI: 10.1109/HST.2011.5955011.
8. Suh G.E., Devadas S. Physical unclonable functions for device authentication and secret key generation. Proceedings of the 44th annual Design Automation Conference. 2007:9-14. DOI: 10.1145/1278480.1278484.
 9. Yarmolik V.N., Vashinko Y.G. [Physical unclonable functions]. Informatika = Informatics. 2011;2(30):92-103. (In Russ.)
 10. Ivaniuk A.A., Zalivaka S.S. [Physical cryptography and security of digital devices]. Doklady BGUIR=Doklady BGUIR. 2019;2(120):50-58. (In Russ.)
 11. Yu H., Xu Q., Leong P.H.W. Fine-grained characterization of process variation in FPGAs. 2010 International Conference on Field-Programmable Technology. 2010:138-145. DOI: 10.1109/FPT.2010.5681770.

Вклад авторов

Шамына А.Ю. провел экспериментальные исследования, проанализировал и обобщил полученные результаты.

Иваниук А.А. осуществил постановку задачи для проведения исследования.

Authors contribution

Shamyna A.Yu. conducted experimental studies, analyzed, and summarized the results.

Ivaniuk A.A. carried out the formulation of the problem for the study.

Сведения об авторах

Шамына А.Ю., м.т.н., старший преподаватель Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Иваниук А.А., доктор технических наук, доцент, профессор кафедры информатики, заведующий совместной учебной лабораторией «СК хайникс мемори солиушнс Восточная Европа» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Shamyna A.Yu., M.Sci., (Engineering), Senior Lecturer at the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Ivaniuk A.A., Dr. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor at the Comp. Sci. Department, Head of the Joint Educational Laboratory “SK hynix memory solutions Eastern Europe” of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники;
тел + 375-17-293-84-63;
e-mail: shamyna@bsuir.by, ivaniuk@bsuir.by
Шамына Артем Юрьевич

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki, 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics;
tel. +375-17-293-84-63;
e-mail: shamyna@bsuir.by, ivaniuk@bsuir.by
Shamyna Artsiom Yurievich



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-39-47>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 338.001.36:004:336.717.1

РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ БАНКОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Д.С. ШУМСКИЙ, К.А. ЗАБРОДСКАЯ, О.А. СОСНОВСКИЙ

Белорусский государственный экономический университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 6 сентября 2021

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. В статье предложена оригинальная система показателей, включающая финансовые показатели деятельности, показатели эффективности цифрового развития и показатели конкурентоспособности банков. На основе системного и комплексного подходов, индексных методов и сформированной системы показателей разработана методика рейтинговой оценки конкурентоспособности банков Республики Беларусь. Проведен корреляционный анализ индексов конкурентоспособности. Представлены результаты оценки и даны рекомендации по их практическому использованию. По итогам оценки выделен топ-5 банков по таким показателям, как индекс эффективности цифрового развития и индекс конкурентоспособности банков, определены причины, обусловившие лидерство данных банков. На основе проведенного исследования сформирована методика оценки эффективности развития и конкурентоспособности банков Республики Беларусь, которая учитывает особенности функционирования и развития белорусских банков.

Ключевые слова: финансовые показатели, индексы конкурентоспособности, рейтинговая оценка, анализ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Шумский Д.С., Забродская К.А., Сосновский О.А. Рейтинговая оценка конкурентоспособности банков Республики Беларусь. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 39-47.

RATING ASSESSMENT OF THE COMPETITIVENESS OF BANKS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

DMITRY S. SHUMSKY, CHRISTINA A. ZABRODSKAYA, OLEG A. SOSNOVSKY

Belarusian State Economic University (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 6 September 2021

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The article proposes an original system of indicators, including financial performance indicators, digital development efficiency indicators, and bank competitiveness indicators. On the basis of systematic and integrated approaches, index methods and the formed system of indicators, a methodology for rating the competitiveness of banks in the Republic of Belarus has been developed. A correlation analysis of competitiveness indices was carried out. The results of the assessment are presented and recommendations for their practical use are given. Based on the results of the assessment, the top 5 banks were identified in terms of such indicators as the Digital Development Efficiency Index and the Bank Competitiveness Index, and the reasons that led to the leadership of these banks were identified. On the basis of the study, a methodology for assessing the effectiveness of development and competitiveness of banks in the Republic of Belarus was formed, which takes into account the peculiarities of the functioning and development of Belarusian banks.

Keywords: financial indicators, competitiveness indices, rating assessment, analysis.

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

For citation. Shumsky D.S., Zabrodskaya Ch.A., Sosnovsky O.A. Rating Assessment of the Competitiveness of Banks of the Republic of Belarus. Digital Transformation. 2022; 28(1): 39-47.

Введение

Оценка конкурентоспособности банков является существенным аспектом функционирования банковского сектора и финансового рынка как одних из важнейших составляющих цифровой экономики. Использование цифровых технологий в банковской деятельности позволяет банкам расширять бизнес за счет организации дистанционной, оперативной, удобной системы обслуживания клиентов, повышать качество и конкурентоспособность предлагаемых банковских услуг, привлекать значительное число клиентов, повышать объем совершаемых операций, минимизировать затраты, увеличивать прибыль и обеспечивать высокий уровень конкуренции на финансовом рынке. Исходя из этого, проводить оценку конкурентоспособности банков необходимо, отталкиваясь не только от финансовых показателей их деятельности, но и от эффективности использования банками цифровых технологий. Рост конкуренции на банковском рынке актуализирует проблематику исследования методов оценки конкурентоспособности банков. Главным стимулом функционирования любого банка является желание удержать клиентов и более точно соответствовать их потребностям. Для достижения этого необходимо не только разрабатывать, внедрять и непрерывно совершенствовать актуальные цифровые технологии и продукты, но и оценивать эффективность путей развития и влияние их на конечную конкурентоспособность. Вопрос оценки конкурентоспособности банков, несмотря на существующие подходы [1–8], остается дискуссионным, вследствие чего разработка авторской методики оценки конкурентоспособности банков Республики Беларусь является актуальной задачей.

Для мониторинга, определения приоритетных направлений и повышения конкурентоспособности банков Республики Беларусь используются различные методики рейтинговой оценки, разработанные учеными и экспертами международных и национальных организаций (Fitch, Standard & Poor's, Moody's, EUROMONEY, CAMEL, Национальный банк Республики Беларусь, Белорусский государственный университет, Муфiн.бу и др.). Анализ существующих методик показал, что большинство из них базируется на рейтинговой оценке банков по отдельным показателям: активы, средства клиентов, собственный капитал, уровень развития цифровых технологий.

Отсутствие методики, позволяющей рассчитать рейтинг конкурентоспособности банков по комплексной оценке всех ключевых показателей их деятельности и выявить особенности развития банковского сектора в национальной экономике, обосновало необходимость проведения авторского исследования по данной теме.

Основная часть

Для рейтинговой оценки конкурентоспособности банков авторами сформирована

система показателей, включающая финансовые показатели деятельности, показатели эффективности цифрового развития и показатели конкурентоспособности белорусских банков.

К финансовым показателям деятельности банков относятся следующие показатели:

1. *Процентные доходы* (ПД) – доходы, полученные банками за оказание клиентам услуг кредитного характера (выдача клиентам ссуд и получение банками за эту деятельность дохода).
2. *Комиссионные доходы* (КД) – доходы, полученные банками за оказание клиентам услуг некредитного характера (депозитные операции – клиентские вклады под проценты; расчетные операции – открытие зарплатных, налоговых и иных счетов).
3. *Операционные доходы* (ОД) – доходы, связанные с продажей, выбытием и прочим списанием основных средств и активов.
4. *Прочие доходы* (ПРД) – доходы от операций с драгоценными металлами и камнями, ценными бумагами, иностранной валютой, производными финансовыми инструментами, штрафами, пеней, неустойкой.
5. *Процентные расходы* (ПР) – расходы банков на оказание клиентам услуг кредитного характера.
6. *Комиссионные расходы* (КР) – расходы банков на оказание клиентам услуг некредитного характера.
7. *Операционные расходы* (ОР) – расходы, связанные с продажей, выбытием и прочим списанием основных средств и активов.
8. *Прочие расходы* (ПРР) – расходы на операции с драгоценными металлами и камнями, ценными бумагами, иностранной валютой, производными финансовыми инструментами, штрафами, пеней, неустойкой.
9. *Активы* (А) – денежные средства вкладчиков, используемые банками для получения прибыли, и собственный капитал банков.
10. *Показатель процентной доходности банка* (ППД) – показывает доходность банка в направлении оказания клиентам услуг кредитного характера.
11. *Показатель кредитной доходности банка* (ПКД) – показывает доходность банка в направлении оказания клиентам услуг некредитного характера.
12. *Показатель доходности от основной деятельности банка* (ПОД) – показывает доходность банка в направлении работы с основными средствами и активами.
13. *Показатель прочей доходности банка* (ППРД) – показывает доходность банка в направлениях работы с операциями с драгоценными металлами и камнями, ценными бумагами, иностранной валютой, производными финансовыми инструментами, штрафами, пеней, неустойкой.
14. *Индекс процентной доходности банка* (P_i) – относительный (нормированный) показатель процентной доходности банка.
15. *Индекс комиссионной доходности банка* (K_i) – относительный (нормированный) показатель комиссионной доходности банка.
16. *Индекс операционной доходности банка* (O_i) – относительный (нормированный) показатель операционной доходности банка.
17. *Индекс прочей доходности банка* (L_i) – относительный (нормированный) показатель прочей доходности банка.
18. К показателям эффективности цифрового развития банков относятся следующие показатели:
 19. *Индекс предложения банком цифровых технологий* (Of_i) – относительный (нормированный) показатель предложения банком цифровых технологий.
 20. *Индекс прибыли банка* (Inc_i) – относительный (нормированный) показатель прибыли банка за отчетный период.
 21. *Индекс эффективности цифрового развития банка* (Eff_i) – комплексный показатель, отражающий эффективность использования банками цифровых технологий.
22. К показателям конкурентоспособности банков относятся следующие показатели:
 23. *Индекс эффективности функционирования банка* (E_i) – комплексный показатель, отражающий эффективность функционирования банков в таких направлениях деятельности, как оказание услуг кредитного и некредитного характера, операционная и прочая деятельность.
 24. *Индекс конкурентоспособности банка* (KS_i) – комплексный показатель, отражающий

конкурентоспособность банков, основанный на их эффективности функционирования и эффективности цифрового развития.

Значения финансовых показателей деятельности белорусских банков по состоянию на 1 октября 2021 г. (<https://www.nbrb.by/system/banks/financialposition/balancesheet?bankid=124>) представлены в табл. 1.

Таблица 1. Финансовые показатели деятельности банков Республики Беларусь по состоянию на 1 октября 2021 г., тыс. руб.

Table 1. Financial performance of banks of the Republic of Belarus as of October 1, 2021, thousand rubles

Банк	ПД	КД	ОД	ПРД	ПР	КР	ОР	ППР	А
ОАО «АСБ Беларусбанк»	1978389	443664	94330	54328	1023237	145238	594974	87776	38130359
ОАО «Белагропромбанк»	646574	226217	35221	72585	450540	76487	271806	20594	13371139
ОАО «Белинвестбанк»	284713	150772	26981	12305	151045	42257	139101	9926	5071639
ОАО «Банк Дабрабыт»	85443	39226	10823	5030	52792	8502	40931	2101	1518506
ОАО «Паритетбанк»	37801	19996	6175	3338	25992	3181	26205	1307	608763
ОАО «Сбер Банк»	241974	130136	35397	75644	112842	37683	201453	7224	4601929
ОАО «Белгазпром-банк»	204204	82123	-1332	12110	96895	19809	109288	5528	3611871
ОАО «Банк БелВЭБ»	233829	85234	15467	28059	98824	36285	130248	5005	4670210
ОАО «Приорбанк»	229160	184075	63708	15538	75583	94810	135085	11545	5308669
ЗАО «Альфа-Банк»	236792	112172	63261	9440	50172	16826	149837	11716	3641880
ЗАО «Банк ВТБ (Беларусь)»	110559	55183	13818	25755	66713	5121	65138	2466	2239333
ЗАО «МТБанк»	106404	113478	16304	19966	57724	44074	9831	5111	1680916
ОАО «Технобанк»	26737	29428	21049	1383	12251	13868	32068	3531	709938
ОАО «БНБ-Банк»	43204	12323	7973	5721	26268	3866	27548	1758	745269
ЗАО «Идея Банк»	23974	7469	7927	4042	13737	5448	23696	1673	215498
ЗАО «ТК Банк»	9855	155	-557	799	2	70	4990	1	209059
ЗАО «БСБ Банк»	9498	21313	11544	5147	1509	10256	23776	920	374711
ЗАО «РРБ Банк»	23451	10270	6077	8170	19577	1865	14894	893	408128
ЗАО «Банк «Решение»	14530	9333	1431	1717	9329	3298	11040	397	261885
ЗАО «БГА Банк»	24036	6248	2744	1319	17159	1357	10579	569	393271
ЗАО «Абсолютбанк»	5408	3133	7962	349	767	976	9658	286	174631
ОАО «Франсабанк»	8411	1829	4199	620	4725	521	9100	460	198786
ОАО «СтатусБанк»	7668	1130	772	831	129	531	8053	252	82569
ЗАО «Цептер Банк»	6014	1481	1137	2510	3100	271	7391	275	151394

В процессе исследования сформирована авторская система факторов конкурентоспособности банка (рис. 1), позволяющая на основе интеграции индексного и комплексного методов разработать экономико-математическую модель оценки конкурентоспособности банков Республики Беларусь (13).



Рис. 1. Система факторов конкурентоспособности банка

Fig. 1. The system of bank competitiveness factors

Для оценки конкурентоспособности банков Республики Беларусь на основе индексных методов [4–8] и финансовых показателей деятельности банков разработана система показателей доходности (эффективности вложений в те или иные активы, финансовые инструменты) банков (1–4) по направлениям деятельности (процентные, комиссионные, операционные и прочие доходы и расходы).

$$\text{ППД} = \frac{\text{ПД} - \text{ПР}}{\text{А}} \quad (1)$$

$$\text{ПКД} = \frac{\text{КД} - \text{КР}}{\text{А}} \quad (2)$$

$$\text{ПОД} = \frac{\text{ОД} - \text{ОР}}{\text{А}} \quad (3)$$

$$\text{ППРД} = \frac{\text{ПРД} - \text{ПРР}}{\text{А}} \quad (4)$$

На основе показателей доходности банков (1–4) разработана система индексов (5–8), которые принимают значения от 0 до 1.

$$P_i = \frac{\text{ППД}_i - \min\{\text{ППД}_i\}}{\max\{\text{ППД}_i\} - \min\{\text{ППД}_i\}} \quad (5)$$

$$K_i = \frac{\text{ПКД}_i - \min\{\text{ПКД}_i\}}{\max\{\text{ПКД}_i\} - \min\{\text{ПКД}_i\}} \quad (6)$$

$$O_i = \frac{\text{ПОД}_i - \min\{\text{ПОД}_i\}}{\max\{\text{ПОД}_i\} - \min\{\text{ПОД}_i\}} \quad (7)$$

$$L_i = \frac{\text{ППРД}_i - \min\{\text{ППРД}_i\}}{\max\{\text{ППРД}_i\} - \min\{\text{ППРД}_i\}} \quad (8)$$

В статье [8] авторами разработана система показателей эффективности цифрового развития банков (9–11), которые принимают значения от 0 до 1.

$$Of_i = \frac{T_i}{\max\{T_i\}} \quad (9)$$

$$Inc_i = \frac{inc_i}{\max\{inc_i\}} \quad (10)$$

$$Eff_i = \sqrt{\frac{1}{2}(Of_i^2 + Inc_i^2)} \quad (11)$$

На основе индексов доходности и индекса эффективности цифрового развития банков разработаны и рассчитаны по методу «векторного развития» [8] индекс эффективности функционирования банка (E_i) и индекс конкурентоспособности банка (KS_i), которые принимают значения от 0 до 1 (12–13), построен рейтинг банков по индексу конкурентоспособности KS_i (табл. 2):

$$E_i = \sqrt{\frac{1}{4}(P_i^2 + K_i^2 + O_i^2 + L_i^2)} \quad (12)$$

$$KS_i = \sqrt{\frac{I}{2}(E_i^2 + Eff_i^2)} \quad (13)$$

Таблица 2. Индексы развития и рейтинг банков Республики Беларусь
Table 2. Development indices and rating of banks in the Republic of Belarus

Банк	P_i	K_i	O_i	L_i	E_i	Eff_i	KS_i	Место в рейтинге
ОАО «АСБ Беларусбанк»	0,190	0,181	0,956	0,103	0,499	1	0,790	1
ЗАО «Альфа-Банк»	0,510	0,630	0,821	0,115	0,580	0,743	0,666	2
ЗАО «МТБанк»	0,238	1	0,521	0,569	0,643	0,583	0,613	3
ЗАО «РРБ Банк»	0	0,494	0,848	1	0,701	0,418	0,577	4
ОАО «Белинвестбанк»	0,206	0,513	0,842	0,168	0,511	0,612	0,564	5
ОАО «Банк Дабрабыт»	0,147	0,485	0,871	0,238	0,518	0,581	0,550	6
ОАО «Приорбанк»	0,238	0,401	0,952	0,181	0,538	0,558	0,548	7
ОАО «Сбер Банк»	0,227	0,481	0,664	0,858	0,604	0,449	0,532	8
ЗАО «Банк «Решение»	0,127	0,554	0,656	0,387	0,475	0,579	0,530	9
ЗАО «БСБ Банк»	0,145	0,712	0,708	0,686	0,612	0,386	0,512	10
ОАО «Технобанк»	0,133	0,526	0,926	0	0,537	0,483	0,511	11
ЗАО «Банк ВТБ (Беларусь)»	0,123	0,537	0,832	0,644	0,594	0,397	0,505	12
ОАО «Белгазпромбанк»	0,247	0,412	0,733	0,232	0,454	0,530	0,493	13
ЗАО «Цептер Банк»	0,119	0,186	0,597	0,853	0,532	0,418	0,479	14
ЗАО «БТА Банк»	0,171	0,398	0,793	0,268	0,467	0,450	0,459	15
ОАО «Банк БелВЭБ»	0,237	0,246	0,811	0,382	0,480	0,422	0,452	16
ОАО «СтатусБанк»	1	0,168	0	0,481	0,561	0,257	0,436	17
ЗАО «Идея Банк»	0,465	0,219	0,191	0,672	0,434	0,418	0,426	18
ОАО «Паритетбанк»	0,121	0,666	0,704	0,305	0,512	0,289	0,416	19
ОАО «Белагропромбанк»	0,063	0,264	0,898	0,332	0,498	0,294	0,409	20
ЗАО «Абсолютбанк»	0,209	0,292	1	0,162	0,537	0,161	0,397	21
ОАО «БНБ-Банк»	0,162	0,268	0,789	0,400	0,469	0,290	0,390	22
ЗАО «ТК Банк»	0,458	0	0,786	0,328	0,483	0,225	0,377	23
ОАО «Франсабанк»	0,111	0,151	0,810	0,184	0,425	0,289	0,364	24

Примечание. Собственная разработка. / Note. The authors own development.

Результаты корреляционного анализа индексов конкурентоспособности банков показали высокую степень взаимосвязи между индексами эффективности функционирования и цифрового развития банков и их конкурентоспособностью (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционная матрица индексов конкурентоспособности банков Республики Беларусь
Table 3. Correlation matrix of competitiveness indices of banks of the Republic of Belarus

Показатели	Индекс эффективности функционирования банков (E_i)	Индекс эффективности цифрового развития банков (Eff_i)	Индекс конкурентоспособности банков (KS_i)
Индекс эффективности функционирования банков (E_i)	1	–	–
Индекс эффективности цифрового развития банков (Eff_i)	0,08	1	–
Индекс конкурентоспособности банков (KS_i)	0,43	0,93	1

Примечание. Собственная разработка. / Note. The authors own development.

Анализ полученных результатов (см. табл. 2) показал, что топ-5 по значению индекса эффективности функционирования банков (E_i) составили такие банки, как ЗАО «РРБ Банк» (0,701), ЗАО «МТБанк» (0,643), ЗАО «БСБ Банк» (0,612), ОАО «Сбер Банк» (0,604), ЗАО «Банк ВТБ (Беларусь)» (0,594), что свидетельствует об эффективности их функционирования в основных направлениях деятельности (оказание услуг кредитного и некредитного характера, операционная и прочая деятельность), значительном преобладании доходов над расходами и оптимальном соотношении доходов и активов.

В топ-5 по индексу эффективности цифрового развития (Eff_i) вошли банки, лидерство которых обусловлено их высокой технологичностью и прибыльностью: ОАО «АСБ Беларусбанк» (1,000), ЗАО «Альфа-Банк» (0,743), ОАО «Белинвестбанк» (0,612), ЗАО «МТБанк» (0,583), ОАО «Банк Дабрабыт» (0,581).

Топ-5 по значению индекса конкурентоспособности банков (KS_i) составили следующие

банки: ОАО «АСБ Беларусбанк» (0,790), ЗАО «Альфа-Банк» (0,666), ЗАО «МТБанк» (0,613), ЗАО «РРБ Банк» (0,577), ОАО «Белинвестбанк» (0,564). Проведенный анализ показал, что лидерство ОАО «АСБ Беларусбанк» в рейтинге конкурентоспособности обусловлено в первую очередь его лидерством по доходам, активам, собственному капиталу, кредитному портфелю и средствам клиентов, что подтверждают соответствующие рейтинги (https://bankchart.by/spravochniki/rejtingi_cbr/3/2020/9). Отметим, что ЗАО «Альфа-Банк», ЗАО «МТБанк», ЗАО «РРБ Банк», ОАО «Белинвестбанк» уступают по вышеперечисленным показателям, однако занимают лидирующие позиции по таким показателям, как индекс предложения цифровых технологий (Of_i) и индекс эффективности цифрового развития (Eff_i) [8], что свидетельствует об эффективности их вложений в цифровые технологии и положительном влиянии вложений в цифровые технологии на конкурентоспособность банков.

ОАО «АСБ Беларусбанк» является лидером по большинству показателей (индекс конкурентоспособности, индекс эффективности цифрового развития, прибыль, процентные, комиссионные, операционные, прочие доходы), что обусловлено прежде всего широкими финансовыми возможностями и эффективными вложениями в разработку и внедрение современных цифровых технологий. Необходимо отметить, что ЗАО «Альфа-Банк» (0,666), ЗАО «МТБанк» (0,613), ЗАО «РРБ Банк» (0,577), ОАО «Белинвестбанк» (0,564), входящие в топ-5 по индексу конкурентоспособности, также занимают высокие позиции по вышеперечисленным показателям. Банкам Республики Беларусь, занимающим более низкие позиции в рейтинге конкурентоспособности, для достижения более высокого показателя конкурентоспособности необходимо пересмотреть свои инвестиционные стратегии в части достижения оптимального баланса между вложениями в традиционные сферы деятельности (кредитование, операции с депозитами и расчетными счетами, операционная и прочая деятельность) и вложениями в цифровизацию (внедрение современных цифровых технологий).

В процессе исследования на основе системного и комплексного подходов, индексных методов и методов ранжирования построен рейтинг белорусских банков по состоянию на 1 октября 2021 г. по индексу конкурентоспособности и сформирована методика оценки эффективности развития и конкурентоспособности банков Республики Беларусь:

1. Обоснование необходимости оценки; определение перечня банков, подлежащих оценке.
2. Сбор информации о цифровых технологиях, используемых в банках, и определение уровня их развития.
3. Расчет индексов предложения банками цифровых технологий, прибыли, эффективности цифрового развития, доходности, эффективности функционирования и конкурентоспособности, построение рейтинга банков.
4. Обработка и анализ результатов для оценки конкурентоспособности банков Республики Беларусь и определения стратегических направлений их развития.
5. Разработка рекомендаций по обеспечению банками конкурентных преимуществ.

Список литературы

1. Господарик Е.Г., Ковалев М.М. Рэнкинг беларускіх банкаў па ітогам 2020 г. Вестник ассоциации беларускіх банкаў. 2021;2:5-16.
2. Голенда Л.К., Говядинова Н.Н., Забродская К.А. Экосистема банка в условиях становления цифровой экономики. Научные труды Белорусского государственного экономического университета. 2020;13:161-168.
3. Ветрова Т.А. Основные методики оценки эффективности банковской деятельности. Актуальные вопросы экономики и управления. 2016;11(6):5-9.
4. Хроменкова М.С., Маркусенко М.В., Забродская К.А. Методика оценки использования информационных технологий банками на рынке безналичных платежей Республики Беларусь. Вестник Белорусского государственного экономического университета. 2019;3(134):99-108.
5. Забродская К.А., Хроменкова М.С. Инфокоммуникационные технологии как фактор обеспечения инновационной конкурентоспособности банков на рынке безналичных расчетов. Вестник белорусского государственного экономического университета. 2016;4:28-37.
6. Забродская К.А., Хроменкова М.С. Оценка развития коммерческих банков Республики Беларусь. Материалы международной научно-практической конференции «Управление социально-экономическими системами». 2017;1:71-73.

7. Головенчик Г.Г., Ковалев М.М. Цифровая экономика. Издательский центр Белорусского государственного университета. 2019;1:238-259.
8. Шумский Д.С., Забродская К.А. Оценка развития цифровых технологий в банках Республики Беларусь. Научные труды Белорусского государственного экономического университета. 2021;14:501-509.
9. Лузгина А.Н. Цифровизация платежных сервисов и розничной торговли как стимул для развития банковского сектора. Банковский вестник. 2020;9(686):16-27.
10. Ковалев М.М. Цифровая трансформация банков. Банковский вестник. 2018;1(654):50-60.

References

1. Gospodarik E.G., Kovalev M.M. [Ranking of Belarusian banks at the end of 2020]. Vestnic assotsiatsii belorusskikh bankov = Bulletin of the Association of Belarusian Banks. 2021;2:5-16. (In Russ.)
2. Golenda L.K., Govyadinova N.N., Zabrodskaya K.A. [Ecosystem of the bank in the conditions of the formation of the digital economy]. Nauchnie Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Scientific works of the Belarusian State Economic University. 2020;13:161-168. (In Russ.)
3. Vetrova T.A. [Basic methods for evaluating the effectiveness of banking activities]. Aktualnie voprosy ekonomiki i upravleniya = Topical issues of economics and management. 2016;11(6):5-9. (In Russ.)
4. Khromenkova M.S., Markusenko M.V., Zabrodskaya K.A. [Methodology for assessing the use of information technologies by banks in the market of non-cash payments of the Republic of Belarus]. Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Bulletin of the Belarusian State Economic University. 2019;3(134):99-108. (In Russ.)
5. Zabrodskaya K.A., Khromenkova M.S. [Infocommunication technologies as a factor in ensuring the innovative competitiveness of banks in the market of cashless payments]. Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Bulletin of the Belarusian State Economic University. 2016;4:28-37. (In Russ.)
6. Zabrodskaya K.A., Khromenkova M.S. [Assessment of the development of commercial banks of the Republic of Belarus]. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-practicheskoy konferentsii "Upravlenie socialno-ekonomicheskimi sistemami" = Materials of the international scientific-practical conference "Management of socio-economic systems". 2017;1:71-73. (In Russ.)
7. Golovenchik G.G., Kovalev M.M. [Digital economy]. Izdatelskiy Centr Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta = Publishing Center of the Belarusian State University. 2019;1:238-259. (In Russ.)
8. Shumsky D.S., Zabrodskaya K.A. [Assessment of the development of digital technologies in the banks of the Republic of Belarus]. Nauchnie Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Scientific works of the Belarusian State Economic University. 2021;14:501-509. (In Russ.)
9. Luzgina A.N. [Digitalization of payment services and retail trade as an incentive for the development of the banking sector]. Bankovskiy vestnik = Bank Bulletin. 2020;9(686):16-27. (In Russ.)
10. Kovalev M.M. [Digital transformation of banks]. Bankovskiy vestnik = Bank Bulletin. 2018;1(654):50-60. (In Russ.)

Вклад авторов

Забродская К.А., Сосновский О.А. предложили идею рейтинговой оценки конкурентоспособности банков Республики Беларусь.

Шумский Д.С. провел рейтинговую оценку конкурентоспособности банков Республики Беларусь.

Author's contribution

Zabrodskaya K.A., Sosnovsky O.A. proposed the idea of a rating assessment of the competitiveness of banks in the Republic of Belarus.

Shumsky D.S. conducted a rating assessment of the competitiveness of banks in the Republic of Belarus.

Сведения об авторах

Шумский Д.С., аспирант кафедры информационных технологий Белорусского государственного экономического университета.

Забродская К.А., к.э.н., доцент кафедры информационных технологий Белорусского государственного экономического университета.

Сосновский О.А., к.т.н., доцент кафедры информационных технологий Белорусского государственного экономического университета.

Information about the authors

Shumsky D.S., Ph.D. student at the Department of Information Technologies of the Belarusian State Economic University.

Zabrodskaya Ch.A., Cand. of Sci. (Economics), Associate Profeccor at the Department of Information Technologies of the Belarusian State Economic University.

Sosnovsky O.A., Cand. of Sci. (Technology), Associate Profeccor at the Department of Information Technologies of the Belarusian State Economic University.

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Партизанский, 26,
Белорусский государственный
экономический университет;
тел. +375-29-752-94-48;
e-mail: dmitriyshumskiy123@yandex.ru
Шумский Дмитрий Сергеевич

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Partizansky Ave., 26,
Belarusian State Economic University;
tel. +375-29-752-94-48;
e-mail: dmitriyshumskiy123@yandex.ru
Shumsky Dmitry Sergeevich



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-48-57>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004:(331+340.12)

ЦИФРОВАЯ КУЛЬТУРА ОРГАНИЗАЦИИ КАК КОНВЕРГЕНТНАЯ ПАРАДИГМА ДЛЯ ПРАВА И ЭКОНОМИКИ

Е.М. БОРОДИНСКАЯ¹, А.Н. ФИРОНОВ²

¹Белорусский государственный аграрный технический университет (г. Минск, Республика Беларусь)

²Белорусский государственный университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 10 февраля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Понятие цифровой культуры относится к трансдисциплинарной области исследований, находящейся на стыке комплекса социально-гуманитарных наук (культурология, философия, история, юриспруденция, экономика и т. д.). В данной статье рассмотрена сущность и содержание цифровой культуры организации как холистического феномена через призму трансдисциплинарной связи экономического и правового аспектов проблемы. Проанализирована сущность и взаимосвязь терминов «информационная культура», «цифровая культура», «правовая культура». Предложена методика оценки уровня цифровой культуры экосистемы организации.

Ключевые слова: цифровая культура, информационная культура, правовая культура, экономика, право, организационная культура, цифровизация, цифровая трансформация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Бородинская Е.М., Фиронов А.Н. Цифровая культура организации как конвергентная парадигма для права и экономики. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 48-57.

ORGANIZATION DIGITAL CULTURE AS CONVERGENT PARADIGM FOR LAW AND ECONOMY

EVGENIYA M. BORODINSKAYA, ANATOLI N. FIRONOV

Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 10 February 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The concept of digital culture refers to a transdisciplinary field of research located at the intersection of the complex of social sciences and the humanities (culturology, philosophy, history, jurisprudence, economics, etc.). This article examines the essence and content of the digital culture of an organization as a holistic phenomenon through the prism of a transdisciplinary connection between the economic and legal aspects

of the problem. The essence and interrelation of the terms “information culture”, “digital culture”, “legal culture” are analyzed. A methodology for assessing the level of digital culture of an organization’s ecosystem is proposed.

Keywords: digital culture, information culture, legal culture, economics, law, organizational culture, digitalization, digital transformation.

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

For citation. Borodinskaya E.M., Fironov A.N. Organization Digital Culture as Convergent Paradigm for Law and Economy. Digital transformation. 2022; 28(1): 48-57.

Введение

Человечество вступило в эпоху цифровой глобализации, определяемой постоянно растущими потоками данных и информации. Цифровая трансформация затрагивает все сферы деятельности общества, стирая границы между реальным и виртуальным (цифровым) пространством. Развитие новых форм коммуникаций меняет среду бытия человека, ценности, природу человека, общественные отношения и окружающую действительность. В ответ на происходящие изменения возникают новые области междисциплинарных исследований, формируется конвергентная парадигма научной мысли, характеризующаяся объединением, взаимопроникновением наук и технологий [1].

В этом контексте особый интерес вызывает мысль известного английского писателя и ученого Ч.П. Сноу об объективном существовании у человечества двух противоположных культур – естественно-научной и гуманитарной, каждая из которых имеет особую систему ценностей. В условиях цифровой трансформации современного общества возникает необходимость объединения этих ценностных систем, возможная в том числе и на основе феномена цифровой культуры. Однако подобный процесс требует выработки особых методологических приемов, заключающихся в использовании основанного на принципе холизма трансдисциплинарного подхода и постнеклассической научной парадигмы (Е.Н. Князева, Л.П. Киященко, В.И. Моисеев, С.А. Калинин и др.) [2]. Применение именно трансдисциплинарного подхода, более глобального, чем междисциплинарный, позволяет за счет панорамного охвата реальности раскрыть новые грани и отличительные особенности цифровой культуры. Данный подход позволит рассмотреть цифровую культуру как холистический (целостный) феномен, способный интегрировать как правовые, так и экономические аспекты.

Цифровые технологии трансформируют процесс принятия управленческих решений не только на уровне государства, но и на уровне конкретных организаций (субъектов хозяйствования), что обуславливает целесообразность пересмотра подходов к пониманию организационной культуры, представляющей собой систему общих ценностей, правил и норм поведения, принимаемых членами организации, и выступающей базисным понятием менеджмента. В силу того, что организационная культура является одним из важнейших факторов конкурентоспособности организации, недостатки организационной культуры необходимо рассматривать как препятствия на пути к успеху организации в цифровую эпоху. По данным VCG, около 80 % компаний, уделяющих внимание организационной культуре, добились гораздо более высоких экономических результатов, чем те компании, руководство которых пренебрегало решением подобных вопросов [3].

Вышеизложенное актуализирует важность рассмотрения понятия «цифровая культура организации», сущности и взаимодействия информационного, цифрового, экономического и правового аспекта культуры на уровне организации в условиях формирования цифрового общества.

Информационная культура

В отечественных публикациях термин «информационная культура» впервые появился в 1970-х гг. в исследованиях библиографов [4, с. 63]. Развиваясь и вбирая в себя знания из теории информации, кибернетики, информатики, семиотики, документалистики, философии, логики,

культурологии, лингвистики и др., содержание данной категории претерпевало значительные изменения. В настоящее время информационная культура понимается как особый свойственный информационному обществу феномен, включающий навыки поиска, восприятия, передачи, обработки, хранения, воспроизведения информации с использованием современных информационных технологий; совокупность личностных качеств, включающих самообучаемость, коммуникабельность, любознательность; набор правил поведения в информационном пространстве и их соблюдение [4–10].

Информационная культура традиционно классифицируется в зависимости от объекта, например, информационная культура общества, отдельных категорий потребителей (пользователей) информации, личности [4, с. 63]. При этом понятие информационной культуры личности базируется на информационной грамотности, отражающейся в наличии у индивида знаний и умений, необходимых для правильной идентификации, поиска, интерпретации и анализа, оценки точности и надежности информации, передачи и представления результатов анализа и интерпретации их другим лицам и т. д. [4, с. 66].

Информационная грамотность является неотъемлемым атрибутом для формирования финансовой грамотности (умение пользоваться банковскими услугами, а также современными интернет-сервисами для оплаты товаров, услуг, налогов и т. п.), правовой грамотности (умение пользоваться правовыми системами и находить актуальную правовую информацию, знание и понимание правовых особенностей распространения, передачи, хранения, защиты информации и т. д.). Кроме того, формирование информационной грамотности является базой для успешного освоения современных образовательных программ, эффективного взаимодействия с органами власти (электронное правительство [11]), учреждениями здравоохранения (электронное здравоохранение).

Близкой к понятию информационной грамотности, но, по нашему мнению, более емкой по содержанию является информационно-коммуникационная культура личности – «сложная многокомпонентная структура, представляющая собой систему знаний, умений и навыков по поиску, преобразованию и использованию информации, а также систему эффективных способов трансляций информационных ресурсов, обеспечивающую гармоничное функционирование личности в условиях информационного общества; является индикатором профессиональной, социальной и культурной компетентности личности» [12, с. 68]. Цифровая грамотность составляет базовые возможности для формирования информационно-коммуникационной культуры личности, является необходимым условием ее развития и укрепления.

Информационная культура организации охватывает информационную культуру сотрудников как отдельных личностей, так и комплекс правил и ценностей организации, касающихся обращения с информацией и информационными (корпоративными) ресурсами. Учитывая специфику используемых информационных технологий и систем, информационная культура может существенно различаться для различных подразделений одной и той же организации.

Цифровая культура

Термин «цифровая культура» (digital culture) впервые был использован Р. Гиром [5]. Елькина Е.Е. признает более корректным рассмотрение цифровой культуры в качестве частного улучшенного проявления информационной культуры, т. к. всеми ее характеристиками обладает и цифровая культура, но в то же время последняя неразрывно связана с современными цифровыми ресурсами и технологиями. К основным компонентам цифровой культуры организации относятся:

- инновационное мышление и открытость к экспериментам и риску;
- открытая культура, заключающаяся в открытых, честных, своевременных, уникальных коммуникациях с партнерами, поставщиками, клиентами, стартапами;
- принятие управленческих решений на основе данных и бизнес-аналитики;
- сотрудничество: создание кросс-функциональных межведомственных команд для оптимизации навыков предприятия;
- развитие цифровых компетенций;

– гибкость и адаптивность к изменяющимся требованиям внешней среды и новым технологиям;

– клиентоориентированность: использование цифровых решений для расширения клиентской базы, преобразования клиентского опыта и совместного создания новых продуктов [7, 13].

Необходимо указать, что между терминами цифровая и информационная культура отсутствует четкая демаркационная линия. Так, достаточно затруднительно определить, в какой момент информационная культура становится цифровой. Следует согласиться с Д.Р. Сапаровой [14], которая основным принципиальным отличием цифровой культуры считает изменение вида взаимоотношений между людьми и миром: вместо исконных, «фактических» (синоним «аналоговых», face-to-face) взаимоотношений возникают новые виртуальные коммуникации, основанные на использовании информационных (цифровых) технологий. В науке существует отождествление цифровых и информационных технологий [14], что лишь подчеркивает подобность рассматриваемых феноменов.

Отметим достаточную обоснованность, что поколение 2000-х гг., которое иногда называют поколением next, поколением Z, миллениалами, сетевым поколением, поколением Facebook, поколением iPod и т. д., отличается состоянием на границе реального и виртуального миров, сформированным окружающей их виртуальной средой и гаджетами. Именно в этом цифровом пространстве, соединяющем виртуальный мир с реальным (оффлайн / онлайн-взаимодействие, или Phygital-взаимодействие, «Physics + Digital = Phygital»), и формируется цифровая культура, обладающая следующими признаками:

- виртуальность;
- ускорение коммуникационных процессов (время обмена информацией сокращается до минут, иногда секунд);
- поверхностность («обезличенность» цифрового контента) [6, с. 29; 9, с. 32; 14, с. 4].

Вышеизложенное позволяет анализировать цифровую культуру на уровне общества в целом, различных организаций (корпораций) и личностей с учетом их сущностной специфики. Цифровая культура личности лежит в основе и составляет ядро цифровой культуры организаций и общества. Цифровая культура организации (корпорации) в современном понимании – это организационная (корпоративная) культура, которая сопряжена как с высокой интенсивностью информационного потока, так и с рациональной организацией массивов данных (Big Data) и личной цифровой культурой, которая обладает уникальными особенностями.

Необходимость и важность изучения и глубокого анализа холистического феномена цифровой культуры неоднократно отмечается социологическими опросами. Так, по результатам опроса руководителей всего мира, проведенного McKinsey, среди проблем цифровой трансформации самыми существенными названы вопросы цифровой культуры, находящиеся в прямой взаимосвязи с негативными экономическими результатами организаций. Исследователи McKinsey доказывают необходимость планомерной корректировки цифровой культуры организации в соответствии с направлениями стратегии цифрового развития [15].

Правовая культура

Правовая культура – это важнейший элемент как правовой системы государства, так и культуры в целом, который охватывает все стороны человеческой активности. По сути, именно уровень (качество) правовой культуры граждан, разделяемые ими правовые ценности и правосознание определяют модель поведения личности в правовой реальности. Более того, уровень правовой культуры обуславливает чувство ответственности, которое испытывает личность, действующая в сфере права. Правовая культура играет важную роль в определении гражданской позиции личности, в процессе реализации субъективных прав и исполнения юридических обязанностей. Таким образом, эффективное функционирование государства в целом и его отдельных систем базируется на фундаменте и находится в прямой зависимости от уровня правовой культуры как личности, так и всего общества.

Впервые термин «правовая культура» был введен в 50–60-х гг. XX в. С.С. Алексеевым и И.Е. Фарбером [16, с. 113]. Однако в силу многозначности и многоаспектности данного

феномена в юридической науке отсутствует единый подход к его определению, но объективно существует множество адекватных направлений его понимания (описания):

- как степени соответствия неким эталонам в области правовой регламентации общественных отношений;
- как состояния правовой жизни общества, определяемого достигнутым уровнем юридических актов, иных текстов правового характера и степенью гарантированности государством свободы поведения личности во взаимосвязи с субъективной ответственностью перед обществом;
- как совокупности ценностей, созданных и создаваемых в области права (право, правосознание, правовые отношения, состояние законности, уровень совершенства законодательской, правоприменительной и иной правовой деятельности, правомерное поведение и пр.);
- как развивающейся системы правовых ценностей, создаваемых в ходе развития общества и впитавших в себя достижения мировой юридической культуры (юридические знания, традиции и представления, приемы и способы законодательства, формы и методы деятельности правоприменительных органов, гарантии и процедуры защиты прав и законных интересов граждан и др.) [17–21].

В силу вышеизложенного отсутствует и однозначный подход к выделению структурных элементов правовой культуры, включающих, например:

- правовые тексты, правовую деятельность, правовое сознание;
- право, правоотношения, правовые учреждения, правосознание, правовое поведение;
- правовую науку, юридическое образование и изменяющуюся в соответствии с научными идеями правовую реальность [19, 22].

Таким образом, правовая культура – это сложное, многомерное, холистическое и полиструктурное явление, воздействующее на сущность всех государственных и общественных процессов или детерминирующая их. При этом правовая культура является следствием иных материальных и духовных феноменов. Так, огромный массив информации и новые информационные потоки, возникающие внутри общества, объективно влияют на процессы изменения и трансформации самой правовой культуры, в том числе за счет возрастания потребности в расширении правовой информированности общества и личности, обуславливающей их социально-правовую активность, формирование новой системы правового воспитания и образования и т. д.

Современные глобальные преобразования требуют формирования личности, способной использовать права и законные интересы, защищать законными способами, уважать права других лиц, осознавать обязанности и ответственность за их нарушение, что актуализирует проблему целенаправленной деятельности государства по повышению правовой культуры населения в период цифровой трансформации общества.

Цифровая трансформация общества изменяет не только форму коммуникаций, но и роль открытого контента в жизни людей. Развитие информационных технологий усиливает значимость комплекса проблем информационной безопасности, и именно в этом аспекте ключевую роль играет право и правовая культура. Среди наиболее важных проблем информационной безопасности следует выделить увеличение объемов недостоверной информации, а также преобладание некачественной информации над качественной и полезной; увеличение объемов деструктивной, разрушающей информации [23]. Высокая скорость информационных потоков приводит к возникновению такого феномена, как информационная перегрузка (о нем писал Э. Тоффлер еще в 1970 г. [24]), следовательно одним из важнейших свойств как цифровой, так и правовой культуры человека является механизм его защиты от воздействия некачественной и недостоверной информации.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что процесс формирования правовой культуры у сотрудников различных организаций, как и у граждан в целом, имеет достаточно сложный и разнонаправленный характер. Это позволяет согласиться с идеей о необходимости создания единой программы по повышению правовой культуры и правосознания населения, направленной на формирование единообразного комплекса правовых знаний, которые определяют знания субъекта информационной деятельности. При этом такие знания должны содержать не только информацию

о правах и обязанностях в области производства и потребления информационных продуктов и услуг, но и о специфических характеристиках информации, о последствиях ее воздействия и о законодательных ограничениях по ее переработке и степени доступности (сведения об общедоступной информации и информации ограниченного доступа: государственная, служебная, коммерческая, профессиональная, семейная (личная) тайны), о регулировании использования корпоративных информационных ресурсов и т. д. Таким образом, формирование высокого уровня правовой культуры в условиях цифровой трансформации общества позволяет обеспечивать предпосылки для эффективного саморегулирования информационных систем и информационной безопасности физических лиц, организаций и всего государства [23].

Результаты и их обсуждение

Вывод 1. Цифровая культура организации как холистический феномен базируется на понятии организационной культуры, образует трансдисциплинарные связи с терминами «информационная культура», «информационная безопасность», «информационная грамотность», «правовая культура», рассматриваемыми на уровне как личности, так и организации; представляет собой важнейший фактор повышения конкурентоспособности организаций в современных условиях рыночных отношений и цифровизации экономики, требует от руководителей организаций целенаправленной работы по формированию и развитию цифровой культуры сотрудников.

Вывод 2. Внедрение цифровых технологий может быть эффективным для организации только в том случае, если будет уделено достаточное внимание внедрению и развитию цифровой культуры сотрудников, которая способствует обучению, экспериментированию и росту. Важнейшим шагом к формированию такой цифровой культуры является ее мониторинг и изучение разрыва между восприятием изменений цифровой культуры сотрудниками и менеджментом организации.

В исследованиях Всемирного экономического форума (ВЭФ) приводится методика оценки уровня цифровой культуры организации [25], которая заключается в проведении опроса сотрудников и руководителей организации с помощью анкеты, включающей пять блоков: сотрудничество, управление данными, клиентоориентированность, восприимчивость к инновациям, воздействие на стейкхолдеров. Указанная методика адаптирована авторами для отечественных организаций (табл. 1).

Таблица 1. Методика оценки цифровой культуры экосистемы организации
Table 1. Methodology for assessing the digital culture of an organization's ecosystem

Блок	Утверждение А	Утверждение Б
1. Сотрудничество	В нашей организации производительность измеряется индивидуальными показателями КРІ	В нашей организации производительность оценивается по КРІ команды
	В нашей организации эксперты стремятся сохранить знания для себя и укрепления своей позиции в организации	В нашей организации эксперты выступают в роли «узлов знаний», т. е. открыто делятся своими знаниями с другими людьми
2. Управление данными	Новые технологии и доступ к данным предоставляются выбранной группе сотрудников	Все наши сотрудники обучены основными техническим навыкам, методам работы с новыми технологиями
	Мы отслеживаем и храним информацию о клиентах и другие соответствующие данные, но их нельзя легко запросить или интегрировать для ответа на стратегические вопросы	Мы используем платформы данных, чтобы отвечать на стратегические вопросы и извлекать ценность для бизнеса из массивов данных
3. Клиентоориентированность	Мы ценим стабильность и преемственность и не подвергаем сомнению статус-кво	Мы постоянно ставим под сомнение наши продукты и процессы, чтобы не отставать от изменяющихся требований заказчика
	Мы реагируем только на регулярно повторяющиеся жалобы (клиентов, партнеров и т. д.)	Мы всегда отвечаем на жалобы, отрицательные отзывы, которые, по нашему мнению, приводят к постоянному совершенствованию во всей организации

Продолжение таблицы 1

	Наше предложение на рынке изменилось незначительно за последнее время (например, 5 лет)	Мы постоянно анализируем изменения ожиданий наших клиентов и совершенствуем предлагаемые товары (услуги) в соответствии с этими изменениями
4. Восприимчивость к инновациям	В нашей организации люди склонны маскировать свои ошибки	В нашей организации «потерпеть неудачу безопасно»
	Обычно сотрудники предпочитают работать в знакомых ситуациях	В нашей организации поиск новых, нестандартных вариантов решения проблемы – естественное состояние
	Обычно от подразделений ожидается безупречное управление существующими решениями/процессами	Многие сотрудники нашей организации видят себя людьми, которые регулярно выходят из зоны комфорта
5. Воздействие на стейкхолдеров ¹⁷	Решения в нашей организации в основном принимаются на основании финансовых показателей	Наша организация использует экологические, социальные и управленческие показатели, а также финансовые показатели для принятия решения
	Управление карьерой сотрудников в нашей организации не осуществляется	В организации разработан план конкретных мероприятий по своевременному формированию кадрового резерва на всех уровнях управления организацией
	Управление организацией ориентировано на создание ценности для клиентов	Управление организацией ориентировано на создание устойчивой ценности для ключевых стейкхолдеров

Источник: разработано на основе [25]

Отвечая на утверждения «да» или «нет», можно определить факторы, сдерживающие развитие цифровой культуры, и направления ее совершенствования. «Утверждение Б» представляет более сильную цифровую культуру, варианты «Утверждения А», как правило, связаны с поведением, мышлением сотрудников, которое может сдерживать формирование и развитие цифровой культуры.

Ответы на представленные в табл. 1 утверждения имеют ориентировочный характер, их перечень не исчерпывающий и должен интерпретироваться в контексте исследуемой организации.

Оценку уровня цифровой культуры организации предлагается проводить ежегодно на основе анкетирования сотрудников и руководителей предприятия по методике, представленной в табл. 1, с последующим сравнительным анализом полученных результатов в зависимости от категории работников и разработкой мероприятий по совершенствованию цифровой культуры организации.

Вывод 3. Для совершенствования цифровой культуры организации важно вовлечь сотрудников в процесс развития цифровой культуры, сформировав четкие и ощутимые KPI¹⁸, позволяющие поощрять работников за определенное организационное поведение (открытость изменениям, готовность осваивать новые цифровые навыки и сотрудничать с коллегами для эффективной совместной работы над формированием цифровых компетенций). Системный подход определяет необходимость регулярных инвестиций в интеллектуальный капитал организации в части развития навыков специалистов в сфере современных цифровых технологий, формирования и развития правовой культуры организации (повышение квалификации, организация обмена опытом внутри организации, с организациями-партнерами и т. д.) [13].

¹⁷ Стейкхолдеры здесь понимаются как общество в целом, включая сотрудников, клиентов, акционеров, сообщества, в котором работает организация. Воздействие понимается как влияние на стейкхолдеров через производимые товары и оказываемые услуги.

¹⁸ KPI – ключевые показатели эффективности (Key Performance Indicator), включают количественные и качественные показатели деятельности организации, подразделений, сотрудников, используемые для оценки эффективности бизнес-процесса и достижения определенных целей владельцем бизнес-процесса.

Заключение

Согласно исследованиям, проведенным Всемирным экономическим форумом, в 34 странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), цифровизация оказывает существенное влияние на экономический рост. В частности, рост ВВП на душу населения напрямую зависит от роста «оцифровки» ВВП. Прогнозируется, что к 2025 г. половина мировой экономики будет приходиться на цифровую. Потенциал цифровой трансформации в полной мере может быть реализован только при соответствующем внимании к развитию цифровой культуры [8, с. 28].

По данным исследований крупнейшей французской консалтинговой компании в сфере менеджмента и информационных технологий Capgemini, более 60 % опрошенных считают, что особенности культуры являются первым препятствием на пути к цифровой трансформации (в исследовании принимали участие 1700 опрошенных из США, Великобритании, Франции, Германии, Италии, Швеции, Нидерландов и Испании) [13].

В настоящее время цифровая трансформация экономики является одним из приоритетных направлений стратегического развития Беларуси. В соответствии с приоритетными направлениями социально-экономического развития республики до 2025 г. утверждена Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 гг., которая направлена на внедрение информационно-коммуникационных и передовых производственных технологий в народное хозяйство и все сферы общества. Успешность внедрения инструментов цифровой экономики и реализации экономического потенциала страны в значительной степени определяется уровнем цифровой культуры общества, организаций и граждан, что обуславливает необходимость уделять особое внимание развитию цифровой и правовой культуры граждан.

Список литературы

1. Маркова-Мурашова С.А. Культура, право, экономика: современный вектор взаимодействия. *Философия права*. 2014;4:71-75.
2. Фионов А.Н. Квантово-эвристическая интерпретация права и правовой культуры. *Юридический мир*. 2021;9:94-100.
3. Hemerling J., Kilmann J., Danoesastro M., Stutts L., Ahern C. It's not a digital transformation without a digital culture [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.bcg.com/publications/2018/not-digital-transformation-without-digital-culture>. Дата доступа: 28.01.2022.
4. Романова Ю.Д., Вокина С.Г., Герасимова В.Г., Дьяконова Л.П., Женова Н.А., Зотов В.А., Лесничая И.Г., Меламуд М.Р., Музычкин П.А. Информационные технологии в менеджменте (управлении). Под общ. ред. Ю.Д. Романовой. Москва: Юрайт; 2012.
5. Елькина Е.Е. Цифровая культура: понятие, модели и практики. *Информационное общество: образование, наука, культура и технологии будущего*. 2018;2:195-203.
6. Мамина Р.И. Сетевое общество и его реалии: цифровой этикет. *Дискурс*. 2019;2:24-34.
7. Набок О.А. Цифровая культура. Механизмы формирования цифровой культуры. *Digital*. 2021;2(1):6.
8. Паньшин Б.Н. Цифровая версия культуры. *Веснік сувязі*. 2020;3:26-29.
9. Строков А.А. Цифровая культура и ценности российского образования. Нижний Новгород; 2021.
10. Пулатов Ж.Н. Информационная культура. Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017;11(2):67-69.
11. Бородинская Е.М., Дзюба А.А. Электронное правительство как фактор цифровой трансформации в Республике Беларусь. Тенденции развития Интернет и цифровой экономики. 2020;24-25.
12. Шевчик-Гирис Е.М. Полисемия термина «информационно-коммуникационная культура». *Информатизация образования*. 2016; 1: С. 64–73.
13. Digital Transformation Institute: Capgemini Group. The digital culture challenge: Closing the Employee-Leadership Gap. 2017.
14. Сапарова Д.Р. Культурное пространство цифрового поколения. Алматы; 2020.
15. Goran J., LaBerge L., Srinivasan R. Culture for a digital age [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/culture-for-a-digital-age>. Дата доступа: 28.01.2022.
16. Демидова И. Правовая культура как объект научного исследования. *Thesaurus*. 2017;4 :111-117.

17. Губайдуллин А.Р. Правовая культура и ее роль в изучении правовой системы общества. Вестник университета им. О.Е. Кутафина. 2018;5:35-44.
18. Петров А.В. О содержании понятия правовой культуры. Sciences of Europe. 2016;7:140-146.
19. Пырина М.В., Томюк О.Н. Правовая культура: понятие, принципы и факторы ее формирования. Современные проблемы образования. 2014;83-86.
20. Маликов Е.Ю. Ценностно-нормативная функция правовой культуры и ее роль в формировании добросовестного осуществления субъективных гражданских прав и исполнении обязанностей. Правовая парадигма. 2017;16(1):21-27.
21. Абрамович В.А., Василевич Г.А., Вершок И.Л., Дробязко С.Г., Дубовицкий В.Н., Калинин С.А., Лагун Д.А., Матарас В.Н. Общая теория права. Под общ. ред. С.Г. Дробязко, С.А. Калинина. Минск: БГУ; 2014.
22. Петров А.В. Правовая культура и ее структурные компоненты: проблемы генезиса. Вестник Нижегородского университета. 2017; 3:167-173.
23. Снашков С.А. Правовая культура как фактор информационной безопасности. Вестник Челябинского государственного университета. 2013;22:179-182.
24. Тоффлер Э. Шок будущего. Москва: АСТ; 2002.
25. Digital culture: the driving force of digital transformation. World Economic Forum [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.weforum.org/reports/digital-culture-the-driving-force-of-digital-transformation>. Дата доступа: 28.01.2022.

References

1. Markova-Murashova S.A. [Culture, law, economics: a modern vector of interaction]. Philosophy of Law. 2014;4:71-75. (In Russ.)
2. Fironov A.N. [Quantum-heuristic interpretation of law and legal culture]. Legal world. 2021;9:94-100. (In Russ.)
3. Hemerling J., Kilmann J., Danoesastro M., Stutts L., Ahern C. It's not a digital transformation without a digital culture. Available at: <https://www.bcg.com/publications/2018/not-digital-transformation-without-digital-culture>. Accessed: 28.01.2022.
4. Romanova Yu.D., Vokina S.G., Gerasimova V.G., Dyakonova L.P., Zhenova N.A., Zotov V.A., Lesnichaya I.G., Melamud M.R., Muzychkin P.A. [Information technologies in management (management)]. Ed. Yu.D. Romanova. Moscow: Yurait; 2012. (In Russ.)
5. Elkina E.E. [Digital culture: concept, models and practices]. Information society: education, science, culture and technologies of the future. 2018;2:195-203. (In Russ.)
6. Mamina R.I. [Network society and its realities: digital etiquette]. Discourse. 2019; 2:24-34. (In Russ.)
7. Nabok O.A. [Digital culture. Mechanisms for the formation of digital culture]. Digital. 2021;2(1):6. (In Russ.)
8. Panshin B.N. [Digital version of culture]. Vesnik suvyazi. 2020;3:26-29. (In Russ.)
9. Stokov A.A. [Digital culture and values of Russian education]. Nizhny Novgorod; 2021. (In Russ.)
10. Pulatov Zh.N. [Information culture]. Actual problems of the humanities and natural sciences. 2017:67-69. (In Russ.)
11. Borodinskaya E.M., Dziuba A.A. [Electronic government as a factor of digital transformation in the Republic of Belarus]. Trends in the development of the Internet and the digital economy. 2020;24-25. (In Russ.)
12. Shevchik-Giris E.M. [Polysemy of the term "information and communication culture"]. Informatization of education. 2016;1:64-73. (In Russ.)
13. Digital Transformation Institute: Capgemini Group. The digital culture challenge: Closing the Employee-Leadership Gap. 2017.
14. Saparova D.R. [Cultural space of the digital generation]. Almaty; 2020. (In Russ.)
15. Goran J., LaBerge L., Srinivasan R. [Culture for a digital age]. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/culture-for-a-digital-age>. Accessed: 28.01.2022.
16. Demidova I. [Legal culture as an object of scientific research]. Thesaurus. 2017;4:111-117. (In Russ.)
17. Gubaidullin A.R. [Legal culture and its role in the study of the legal system of society]. Bulletin of the University. O.E. Kutafina. 2018;5:35-44. (In Russ.)
18. Petrov A.V. [On the content of the concept of legal culture]. Sciences of Europe. 2016;7:140-146. (In Russ.)
19. Pyrina M.V., Tomyuk O.N. [Legal culture: concept, principles and factors of its formation]. Modern problems of education. 2014:83-86. (In Russ.)
20. Malikov E.Yu. [Value-normative function of legal culture and its role in shaping the conscientious exercise of subjective civil rights and the performance of duties]. Legal paradigm. 2017;16(1):21-27. (In Russ.)
21. Abramovich V.A., Vasilevich G.A., Vershok I.L., Drobyazko S.G., Dubovitsky V.N., Kalinin S.A., Lagun D.A., Mataras V.N. [General theory of law]. Ed. S.G. Drobyazko, S.A. Kalinin. Minsk: BGU; 2014. (In Russ.)
22. Petrov A.V. [Legal culture and its structural components: problems of genesis]. Bulletin of the Nizhny Novgorod University. 2017;3:167-173. (In Russ.)
23. Snashkov S.A. [Legal culture as a factor in information security]. Bulletin of the Chelyabinsk State University. 2013;22:179-182. (In Russ.)

24. Toffler E. [Future shock]. Moscow: AST; 2002. (In Russ.)
25. Digital culture: the driving force of digital transformation. World Economic Forum. Available at: <https://www.weforum.org/reports/digital-culture-the-driving-force-of-digital-transformation>. Accessed: 28.01.2022.

Вклад авторов

Бородинская Е.М. осуществила постановку задачи для проведения исследования, написала подразделы по информационной и цифровой культуре, введение, заключение, результаты и их обсуждение.

Фионов А.Н. написал подраздел по правовой культуре, результаты и их обсуждение.

Authors contribution

Borodinskaya E.M. carried out the task setting for the study, wrote subsections on information and digital culture, introduction, conclusion, results, and their discussion.

Fironov A.N. wrote a subsection on legal culture, the results and their discussion.

Сведения об авторах

Бородинская Е.М., к.э.н., доцент, заведующая кафедрой менеджмента и маркетинга Белорусского государственного аграрного технического университета.

Фионов А.Н., старший преподаватель кафедры теории и истории государства и права Белорусского государственного университета.

Information about the authors

Borodinskaya E.M., Cand. of Sci. (Economics), Associate Professor, Head of the Department of Management and Marketing of Belarusian State Agrarian Technical University.

Fironov A.N., Senior Lecturer at the Department of Theory and History of the State and the Law of Belarusian State University

Адрес для корреспонденции

220023, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Независимости, 99/1,
Белорусский государственный аграрный
технический университет;
тел. +375-17-377-62-41;
e-mail: borodinskaya@yandex.ru
Бородинская Евгения Михайловна

Address for correspondence

22023, Republic of Belarus,
Minsk, Nezavisimosty Ave., 99/1,
Belarusian State Agrarian
Technical University;
tel. +375-17-377-62-41;
e-mail: borodinskaya@yandex.ru
Borodinskaya Evgeniya Mihailovna



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-58-62>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.396.931

ОЦЕНКА РАЦИОНАЛЬНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ GSM-R МОДЕМОВ НОВОЙ СЕРИИ

А.П. ТУРЛАЙ

ООО «СЕНСОР-М» (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 29 марта 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. В статье освещены проблемные вопросы, связанные с появлением на рынке нового специализированного GSM-R модема TRC-5Rme (ext)* Н, серийный выпуск которого начат в 2020 г. немецкой компанией TRIORAIL, являющейся одним из лидеров на рынке Европы по производству специализированного оборудования для подвижных составов железной дороги. Рационально ли будет использование нового модема TRC-5Rme (ext)* Н для решения задач, возложенных на аппаратуру связи подвижных составов? Насколько глубокой степени переработки подвергнутся уже существующие решения, давно эксплуатируемые на железнодорожном транспорте разных стран? Для выявления факторов, способствующих принятию такого решения, проведен сравнительный анализ характеристик модемов. Особое внимание уделено скорости передачи информации и показателям надежности канала связи. Также проанализированы конструктивные особенности модема новой серии, проведена предварительная оценка интеграции модема TRC-5Rme (ext)* Н в существующую аппаратуру связи, выпускаемую предприятиями.

Ключевые слова: GSM-R стандарт, серийное производство, конструктивные особенности.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Турлай А.П. Оценка рациональности использования GSM-R модемов новой серии. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 58-62.

EVALUATION OF THE RATIONALITY OF USING GSM-R MODEMS OF THE NEW SERIES

ANDREI P. TURLAI

Ltd. "SENSOR-M" (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 29 March 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The article highlights the problematic issues related to the appearance of a new specialized GSM-R modem TRC-5RME (ext)* H on the market, the serial production of which was launched in 2020 by the German company TRIORAIL, which is one of the leaders in the European market for the production of specialized equipment for railway rolling stock. Would it be rational to use the new TRC-5rme (ext)* H modem to solve the tasks assigned to the rolling stock communication equipment? What major changes will already existing solutions that have been used for a long time on the railway transport of different countries undergo? To identify the factors contributing to the adoption of such a decision, a comparative analysis of the characteristics of modems will be carried out. Special attention will be paid to the speed of information transmission and indicators of the reliability of the communication channel. The design features of the modem of the new series will also be analyzed, a preliminary assessment of the integration of the TRC-5rme (ext) H modem into existing communication equipment manufactured by enterprises will be carried out.

Keywords: GSM-R standart, mass production, design features.

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

For citation. Turlai A.P. Evaluation of the Rationality of Using GSM-R Modems of the New Series. Digital Transformation. 2022; 28(1): 58-62.

Введение

В настоящее время GSM-R (GSM-Railway) стандарт прочно укрепился на рынке специализированных видов связи. Все подвижные составы железных дорог в Европе и многих странах мира имеют в составе аппаратуры связи GSM-R модемы. ОАО «Российские железные дороги» несколько лет назад приступило к модернизации железнодорожной технологической радиосвязи – строительству цифровой системы стандарта GSM-R, которая внедрена на железных дорогах Европы. От основного стандарта GSM он отличается расширенными специализированными возможностями. Все дополнительные функции отражены в спецификации проекта EIRENE (European Integrated Railway Radio Enhanced Network) и MORANE (Mobile Radio for Railways Networks in Europe), поддержку которого осуществляет ЕС.

Основные дополнительные функции стандарта GSM-R:

- передача данных и голоса в движении со скоростями до 500 км/ч;
- групповой вызов;
- управление приоритетами вызовов;
- сигнализация ETCS (European Train Control System);
- чрезвычайный вызов;
- гибкая автоматическая адресация;
- специальная полоса радиочастот.

Для GSM-R выделено две полосы частот в диапазоне 876–880 и 921–925 МГц. Также GSM-R включает все ключевые функции аналоговых систем, разработанных и ранее используемых на железной дороге. Дополнительный функционал стандарта GSM-R позволил более оперативно и слаженно работать всему обслуживающему персоналу железной дороги, значительно улучшив качество коммуникаций и повысив безопасность движения поездов.

Одним из основных поставщиков модемов стандарта GSM-R в Европе является компания TRIORAIL. Некоторые компании Республики Беларусь, занимающиеся разработкой и производством аппаратуры связи для железной дороги, также используют модемы этой компании. TRIORAIL в 2020 г. выпустила новый GSM-R модем TRC-5Rme (ext)* H. Он пришел на смену модему TTS-TRC-5, производимому той же компанией с 2014 г. по сей день. Новый модем приобрел несколько «фишек», отличающих его от своего «старшего собрата». По мнению разработчиков, эти внедрения позволяют улучшить качество связи и тем самым повысить безопасность железнодорожного транспорта.

Начиная с 2020 г. объем выпуска старых модемов значительно снизился в связи с ориентацией производства на серийное изготовление вновь запущенного производства модема TRC-5Rme (ext)* H. У компаний-разработчиков по всему миру сразу появилась

проблема поддержки уже эксплуатируемого железными дорогами оборудования и его модернизации под новоиспеченный модем, встали вопросы: насколько это необходимо, рационально, и стоит ли вкладывать немалые средства в разработку новой аппаратуры связи? Дабы внести ясность в эти вопросы, проведем сравнительный анализ характеристик модемов, его конструктивных и функциональных особенностей и определим актуальность замены старых модемов на новые, позволив компаниям-разработчикам принимать решения о модернизации или разработке нового связного оборудования для железных дорог.

Методы проведения исследований

Основным критерием для принятия решения по замене старого модема на новый в аппаратуре связи подвижных составов железной дороги будет комплексное существенное улучшение его характеристик, увеличение скорости обмена информации с одновременным уменьшением энергозатрат и улучшением эксплуатационных и стоимостных параметров изделия.

Сравнительный анализ основных характеристик модемов старой и новой серий модемов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Сравнительные характеристики модемов
Table 1. Comparative characteristics of modems

Характеристики	TTS-TRC-5	TRC-5RMe (ext)* Н
GPRS class	8	10
SMS по технологии GSM, (E)GSM-R и GPRS	нет	да
CSD data transmission (протокол передачи данных в GSM сетях) в прозрачном и непрозрачном режимах	нет	да
Антенный разъем	SMA	Antenna connector A TNC 50 Ω [RX/TX]
		Antenna connector B TNC 50 Ω [RX]
Professional Mobile Standard	ETSI TS 102 933-1/2 V1.2.1	ETSI TS 102 933 V 2.1.1
Температурный диапазон	-25° C to +85° C	-40° C to +85° C
Вес	500 g	440 g
Дисплей	3 световых LED-индикаторов	6 световых LED-индикаторов
Размеры	125 × 70 × 30 mm (L × W × H)	128.4 × 170 × 25 mm (L × W × H)
Режим ожидания – потребляемый ток	37 mA/160 mA	69 mA/250 mA
Голосовой вызов – потребляемый ток	180 mA/310 mA	725 mA/945 mA

Скоростные характеристики GSM модема в основном характеризуются количеством каналов приема-передачи, скоростными параметрами каждого канала и количеством тайм-слотов (табл. 2).

Таблица 2. Тайм-слоты модемов
Table 2. Time-slots of modems

Наименование модема	Класс модема GPRS	Кол-во тайм-слотов на прием (шт.)	Кол-во тайм-слотов на передачу (шт.)	Кол-во тайм-слотов всего (шт.)	Старт
TTS-TRC-5	8	4	1	5	2
TRC-5Rme (ext)* Н	10	4	2	5	2

Умножив количество тайм-слотов на пропускную способность используемой кодовой схемы, получаем максимальную скорость приема-передачи данных:

8 класс (8–12 kbps загрузка / 32–40 kbps скачивание)

10 класс (16–24 kbps загрузка / 32–48 kbps скачивание)

Результаты и их обсуждение

Был проведен сравнительный анализ характеристик модемов новой и старой серий (рис. 1, 2). Новые технические решения, используемые в модеме TRC-5Rme (ext)* Н, позволили его отнести к 10 классу GPRS стандарта, скоростные параметры обмена данными улучшились, но при этом возросло и энергопотребление модема.



Рис. 1. Модем TTS-TRC-5
Fig. 1. Modem TTS-TRC-5



Рис. 2. Модем TRC-5Rme (ext)* H
Fig. 2. Modem TRC-5Rme (ext)* H

В функциональном плане новый модем получил возможность обмена данными с помощью SMS по технологии GSM, (E)GSM-R и GPRS в различных режимах. Модем TRC-5RMe (ext) H поддерживает новое поколение стандарта – Professional Mobile Standard ETSI TS 102 933 V 2.1.1 второй версии. Данный стандарт определяет современный уровень железнодорожной связи. Модем нового поколения поддерживает CSD data transmission (протокол передачи данных в GSM сетях) в двух режимах – прозрачном и непрозрачном. Соединение с использованием прозрачного режима не предусматривает повторных передач и не имеет механизма обнаружения ошибок.

В непрозрачном режиме используется уровень стека протокола радиоканала (RLP) для обеспечения надежного транспортного механизма. Уровень RLP обеспечивает повторную передачу поврежденных данных и использует последовательность проверки кадра (FCS) для обнаружения ошибок, тем самым обеспечивая надежную передачу данных.

Модем поддерживает несколько режимов работы с антенной (Antenna connector A TNC 50 Ω [RX/TX] Antenna connector B TNC 50 Ω [RX]), то есть может работать на прием и передачу по одному (A) каналу или на прием по каналу B и передачу по каналу A. Предыдущий имел только один режим работы – A.

Также в нем присутствуют 6 светодиодных индикаторов на панели (в отличие от 3 у предыдущего модема), которые сигнализируют о режимах работы модема (вставлена ли SIM-карта, включен ли модем, RX режим, TX режим, NW, ALL), что упрощает мониторинг режимов работы модема.

С точки зрения эксплуатационных параметров в новом модеме расширился диапазон рабочих температур, он представлен цифрами $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$.

Из табл. 2 видно, что количество слотов на передачу информации выросло в два раза, что незначительно увеличило скорость передачи информации примерно на 25 % от существующей. Такое незначительное увеличение скорости существенно не повлияет на обмен данными между диспетчерами и подвижными составами, т. к. все пакеты жестко регламентированы и имеют временную привязку, объем передаваемой информации также регламентирован и укладывается в существующий протокол обмена. По приросту функционала модема надо отметить возможность передачи SMS, переход на новый стандарт Professional Mobile Standard ETSI TS 102 933 V 2.1.1 и работу в сетях GSM. Данный функционал расширил возможности нового модема, дополняя уже существующий основной функционал, достаточный для осуществления коммуникаций. Особое внимание надо уделить качеству передаваемой информации и сокращению времени на повторные запросы. В новом модеме появилась «фишка», позволяющая производить проверку кадра с использованием встроенного RLP протокола. Данный подход сокращает время на обмен данными, используя алгоритм обработки ошибок, и улучшает качество обмена. К одним из минусов нового модема можно отнести его увеличенный по сравнению с прошлой моделью вес и габаритные размеры, которые изменились из-за кассетного исполнения. Еще одним аспектом нового модема является его стоимость, она колеблется в диапазоне 800–1000 евро за штуку в небольших партиях.

Заключение

Из-за высокой стоимости нового модема (800–1000 евро), его несущественных доработок и основательно сменившейся конструкции в данный момент не целесообразно производить

доработки аппаратуры связи подвижных составов железной дороги, используя новый модем. Но в будущем в связи с изменением протоколов обмена, применением новых стандартов придется производить модернизацию существующего оборудования, уже используемого на железных дорогах стран Европы и других стран. Также необходимо провести доработку этого оборудования для осуществления гарантийного и послегарантийного обслуживания: по данным производителя, образцов старой модели модемов на складах не осталось, и модем TTS-TRC-5 в будущем выпускаться не будет. Однако совместимость GSM-R стандарта с простым GSM стандартом и очень быстро развивающаяся GSM отрасль наводит на мысль об использовании в аппаратуре связи обычных стандартных модемов таких стандартов, как LTE и 5G с высокоскоростными широкополосными модемами стоимостью около 20–30 долл. за штуку. При правильной организации программных слотов модемов все специализированные функции, необходимые железной дороге, можно реализовать на современной базе, используя технологию 4G, LTE, 5G и не прибегая к сложным переработкам уже эксплуатируемой аппаратуры.

Список литературы

1. Trirail. Техническое описание модема TRC-5RMe (ext) Н. Германия: Trirail; 2021.
2. Курбанов Ж.Ф., Колесников И.К., Яронова Н.В. Современная цифровая связь железной дороги. Ташкент: Ташкентский государственный транспортный университет; 2020.
3. Норвегия: Siemens Mobility оснастит подвижной состав поездной радиосвязью стандарта GSM-R с перспективой перехода на FRMCS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zdmira.com/news/norvegiya-siemens-mobility-osnastit-podvizhnoj-sostav-poezdnoj-radiosvyazyu-standarta-gsm-r-s-perspektivoj-perekhoda-na-frmcs>.
4. Шнепс-Шнеппе М.А., Куприяновский В.П. Мобильная сеть GSM-R – основа цифровой железной дороги. Москва: ООО «ЦКБ-Абаванет»; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; 2016.

References

1. Trirail. Datasheet TRC-5RMe (ext) N. Germany: Trirail; 2021.
2. Kurbanov G.F., Kolesnikov I.K., Yaronova N.V. [Modern digital railway communications]. Tashkent: Tashkent State Transport University; 2020.
3. Norway: Siemens Mobility equips cars with GSM-R train radio communication with the prospect of switching to FRMC. Available at: <https://zdmira.com/news/norvegiya-siemens-mobility-osnastit-podvizhnoj-sostav-poezdnoj-radiosvyazyu-standarta-gsm-r-s-perspektivoj-perekhoda-na-frmcs>.
4. Schneps-Schnappe M. A., Kupriyanovsky V.P. GSM-R cellular network – the basis of the digital railway. Moscow: TSKB-Abavanet GmbH; Lomonosov Moscow University; 2016.

Сведения об авторах

Турлай А.П., начальник отдела разработки и проектирования ООО «СЕНСОР-М».

Information about the authors

Turlai A.P., Head of the Development and Design Department of Ltd. “SENSOR-M”.

Адрес для корреспонденции

220007, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Володько, 12
ООО «СЕНСОР-М»;
e-mail: strategtapn@gmail.com
тел. +375-29-649-31-07;
Турлай Андрей Петрович

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Volod'ko st., 12,
Ltd. “SENSOR-M”;
e-mail: strategtapn@gmail.com
tel. +375-29-649-31-07;
Turlai Andrei Petrovich



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-63-70>

Оригинальная статья / Original paper

УДК 33:004

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВЫХ РЕШЕНИЙ НА БИГТЕХ-КОМПАНИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА И РЯД НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

А.В. ЦЕДРИК

Институт экономики НАН Беларуси (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 16 апреля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Описан опыт ряда регулятивных мер со стороны правительств Великобритании и Франции по отношению к бигтех-компаниям, имеющим наибольшую долю в процессе создания цифровых решений и платформ. Дана авторская оценка такому явлению. Также в статье затронут опыт цифровизации энергетического комплекса для ряда стран, выделены важнейшие направления развития научно-технического прогресса с классификацией по типу источников в части производства и поставок электроэнергии. Предложен ряд мер и механизмов, позволяющих ускорить процесс цифровизации экономики Республики Беларусь с учетом международного опыта.

Ключевые слова: цифровая трансформация, бигтех-компании, IT-сектор, цифровые и интеллектуальные системы, цифровизация энергетики, электронное правительство.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Автор выражает благодарность заведующему сектором эффективности минерально-сырьевых ресурсов Института экономики НАН Беларуси В.М. Цилибиной за определение тематики научной статьи и ценные замечания в ходе ее написания. Данный материал частично использовался в составлении отчета отдела мониторинга социально-экономического развития Института экономики НАН Беларуси за 2021 г.

Для цитирования. Цедрик А.В. Влияние цифровых решений на бигтех-компании и организации энергетического комплекса и ряд направлений развития для Республики Беларусь. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 63-70.

IMPACT OF DIGITAL SOLUTIONS ON BIGTECH COMPANIES AND ENERGY COMPLEX ORGANIZATIONS AND A NUMBER OF DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF THE REPUBLIC OF BELARUS

ALEKSANDR V. TSEDRIK

Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 16 April 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. This article describes the experience of a number of regulatory measures by the governments of Great Britain and France on Bigtech companies with the largest share in the process of creating digital solutions and platforms. An author's assessment of such a phenomenon is given. The article also addresses the experience of digitalization of the energy complex for a number of countries, highlights the most important areas for the development of scientific and technological progress with a classification by source type in terms of electricity production and supply. A number of measures and mechanisms have been proposed to accelerate digitalization of the economy of the Republic of Belarus, taking into account international experience.

Keywords: digital transformation, bigtech companies, IT sector, digital and intelligent systems, energy digitalization, e-government.

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

Thanks. The author expresses gratitude to the Head of the Mineral Resources Efficiency Sector of the State University "Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus" V.M. Tsilibina for defining the topics of the scientific article and valuable comments during its writing. This material was partially used to prepare the report of the Monitoring Department of Socio-Economic Development of the Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus for 2021.

For citation. Tsedrik A.V. Impact of Digital Solutions on Bigtech Companies and Energy Complex Organizations and a Number of Directions for the Development of the Republic of Belarus. Digital Transformation. 2022; 28(1): 63-70.

Введение

Цифровая трансформация однозначно проникла практически во все сферы жизнедеятельности и отрасли народного хозяйства. Если брать отдельно сферы применения человеческого труда, здесь можно отметить такие сферы и отрасли, как бизнес и предпринимательство, здравоохранение, наука и образование, машиностроение и металлообработка, отдельные производства, обладающие высокими показателями энергоёмкости.

Влияние цифровой трансформации оказывают в первую очередь так называемые бигтех-компании, обладающие как уникальными инструментами для повышения эффективности и значимости таких процессов, так и основными решениями для повышения потребностей в цифровых продуктах. В то же время формируется запрос общества на создание уникальных цифровых решений, позволяющих оптимизировать деятельность как одного индивида, так и группы потенциальных потребителей. Это может быть как отдельное мобильное приложение для упрощения деятельности человека, так и целое программное обеспечение, позволяющее автоматизировать деятельность на крупном предприятии. Ряд правительств уже заявило о готовности регулятивных мероприятий таких «бигтехов». К примеру, правительство Великобритании уже сформировало новое ведомство [1], которое будет отвечать за регулирование деятельности крупных технологических компаний из разряда Google и Facebook.

Методика

Единица под названием Digital Markets Unit (подразделение по цифровым рынкам) будет создана внутри Управления по защите конкуренции и рынкам (Competition and Markets Authority) страны. Она будет следить за исполнением законодательства, которым будут введены новые ограничения на большие IT-компании. Одной из задач станет обеспечение более равных условий для менее мощных участников рынка. По их задумке, это даст потребителям больше контроля над своими данными и устранил барьеры, усложняющие использование конкурирующих платформ. Также оно может дать людям возможность самим решать, хотят ли они получать персонализированную рекламу.

Digital Markets Unit получит право блокировать или отменять решения, принимаемые бигтех-компаниями, а также штрафовать их в случае неповиновения своим указаниям. Такое подразделение уже начало свою работу в начале апреля 2021 г.

По мнению британского правительства, онлайн-площадки приносят огромную пользу бизнесу и обществу. Но в то же время средоточие влияния в руках небольшого числа технологических компаний сдерживает рост IT-сектора, тормозит развитие инноваций и потенциально имеет негативные последствия для людей и предприятий, которые от них зависят [2].

Так, автор в своем исследовании полагает нелогичность и непопулярность такого решения по причине того, что такого рода площадки не только формируют новые высокотехнологичные места, но и предлагают своим пользователям уникальные цифровые продукты, качество которых сможет снизиться за счет введения такого рода регуляторики со стороны властей Соединенного Королевства.

К этой категории непопулярных мер также следует отнести решение правительства Франции обязать уплатить 3%-й налог на цифровые услуги за 2020 г. Министр экономики Франции Брюно Ле Мэр относится к числу европейских деятелей, которые считают, что IT-компании недостаточно облагаются налогами, генерируя выручку в одной стране и подчиняясь налоговым регуляторам – другой. Они используют преимущества стран с низким корпоративным налогом для оптимизации прибыли. Формируется резонный вопрос: может, высокотехнологичные компании и приходили во Францию с целью экономии налоговых вычетов, потому что закон страны позволяет это сделать, а в другой стране такой возможности нет? Возможно, такое решение повлияет в части того, что данные компании захотят релоцироваться или же оформить юридическое лицо в другой стране? Если такое правительственное решение не «отпугнет» IT-компании, значит, повышение налогов не окажет на них существенного влияния в вопросах развития своего бизнеса и создания цифровых продуктов в дальнейшем.

Сделаем небольшое пояснение. Еще в 2018 г. Ле Мэр предлагал ввести в ЕС цифровой налог для больших компаний, взимаемый исходя из их выручки в регионе, но идея не получила поддержки других стран союза. Франция решила не ждать единодушного согласия и действовать самостоятельно.

Новый налог распространяется на компании с выручкой более 750 млн евро в мире и 25 млн евро в стране. Также они должны управлять маркетплейсом (как, например, Amazon, Uber, Airbnb) или иметь рекламный бизнес (как Facebook и Google). Компании, подпадающие под оба условия, должны будут отчислять в казну 3 % от доходов, получаемых во Франции. Заплатить налог за 2020 г. им нужно в декабре того же года [3].

В любом случае, бигтех-компаниям придется принять обновившиеся «правила игры». После восьми лет переговоров, в период с 2014 по 2021 гг., участники группы “Большой семерки”, согласно данным Reuters [4], в лице собственных министерств финансов определили в июне 2021 года минимальную глобальную ставку корпоративного налога на уровне не менее 15%. Определенно, данное решение можно считать историческим в части реформирования глобальной налоговой системы, чтобы сделать ее соответствующей глобальной цифровой эпохе.

Следует также отдельно коснуться такой темы, как цифровизация энергетического комплекса. Несомненно, энергетика – одна из основополагающих сфер экономической и социальной деятельности. Во многом результаты цифровизации данной отрасли коррелируются с развитием остальных сфер мирового хозяйства.

Как правило, энергетическая система подразумевает под собой целый комплекс из взаимосвязанных компаний и генерирующих станций, создаваемых с целью удовлетворения потребностей организаций и учреждений, предприятий, домашних хозяйств в электричестве и сопутствующей ей продуктам обеспечения жизнедеятельности. Но в последние десятилетия наметилась тенденция по увеличению потребностей в более дешевой, экологически безопасной энергией с последующей возможностью как управления ею в пиковые часы, так и снижения ее в ночное время суток (ночные оптимумы). В основе таких управленческих решений и принимаются меры и мероприятия по внедрению «умных сетей», приборов и устройств, способных «сгладить» такие нагрузки на сеть и принять меры по более эффективному использованию энергии конечным потребителем.

Так, одна из основополагающих целей технологии «умных сетей» (или smart grid) заключается в стимулировании использования продуктов возобновляемой энергетики, которые являются гораздо менее надежными, чем топливные ресурсы, изготавливаемые из полезных ископаемых. Это, по сути, и является причиной появления потребности в интеллектуальных, современных системах регулирования и диагностики такого рода сетей. Согласно

М.М. Ковалеву и Г.Г. Головенчик, создание «умных сетей» будет включать в себя наличие трех ключевых блоков управления, а именно управление потреблением, аварийными режимами, сетью в целом [5, с. 137].

Для полноценной реализации очевидным становится то обстоятельство, что потребуются внедрение целого комплекса оборудования, относящегося к четвертому и пятому технологическому укладам. Акцент в этом направлении делается на устройствах по повышению пропускной способности линий электропередач, накопителях электроэнергии, приборов быстрого регулирования напряжения и т. д. [6].

Электроэнергетика (в том числе генерация тепла) аккумулирует до 38 % спроса на первичную энергию.

В части производства и поставок электроэнергии, согласно методологии, развитой учеными Института энергетических исследований РАН, можно выделить следующие важнейшие направления развития научно-технического прогресса с классификацией по типу источников:

1. Повышение эффективности производства тепловой и электрической энергии из ископаемых источников, достигаемое за счет:

а) применения когенерационных установок (комбинированного производства тепла и энергии). Такой подход позволяет существенно повысить эффективность и КПД работы тепловых станций (котельных) и электрических станций;

б) применения в угольной генерации паротурбинных установок со сверхкритическими и суперкритическими параметрами пара, применения котлов с циркулирующим кипящим слоем, а в газовой генерации – прогрессивных парогазовых и газотурбинных установок;

в) применения в атомной энергетике реакторов на быстрых нейтронах, АЭС нового поколения на базе водо-водяных реакторов, освоения бриддерных технологий, внедрения технологий замыкания ядерного топливного цикла.

2. Расширение производства электрической энергии и тепла за счет нетопливной генерации (генерации из возобновляемых источников энергии), повышение эффективности и коммерческой привлекательности ВИЭ, в том числе:

а) развитие малой гидроэнергетики;

б) повышение эффективности, надежности и нормативного срока службы больших ГЭС, как следствие – повышение их экономической и энергетической эффективности;

в) повышение эффективности и снижение стоимости солнечной генерации, достигаемое в том числе за счет производства некремниевых фотопреобразователей различного типа, каскадных фотопреобразователей с высоким КПД и повышенным ресурсом;

г) повышение эффективности и снижение стоимости ветровой генерации;

д) повышение эффективности работы геотермальных установок, в том числе установок бинарного цикла;

е) развитие технологий получения электроэнергии и тепла на основе биотоплива и отходов.

3. Повышение эффективности и расширение возможностей использования атомной энергетики.

4. Внедрение цифровых и интеллектуальных систем в электроэнергетику: смарт-гриды, активно-адаптивные сети и микрогриды, виртуальные электростанции, цифровизация и интернет вещей.

5. Развитие технологий накопления, хранения и передачи (генерации) энергии, которое изменяет само качество энергосистемы, наделяет ее большей гибкостью и адаптивностью, реструктурирует саму систему производства, передачи и потребления энергии, сглаживает пики потребления, позволяет расширить зоны распределенной генерации, вовлечь в баланс производства электрической энергии большой объем энергии, генерируемой из ВИЭ. Отдельной задачей также является возможность фрагментарного перехода на системы постоянного потока, что позволяет снизить потери и повысить экономическую эффективность при передаче электроэнергии на большие расстояния [7, с. 24–25].

Для малого бизнеса, индивидуальных предпринимателей и домашних хозяйств потребуются в дальнейшем разработка решений в области создания мобильных приложений

и программных средств для быстрой и успешной обработки больших массивов данных, поступающих на сервер, в виде показателей.

В целом ощутимый процесс внедрения цифровых решений в производственные, экономические, общественные, организационно-управленческие, регуляторные и иные процессы в отраслях топливно-энергетического комплекса видоизменяет привычные способы управления их функционированием и развитием. Такого рода процессы создают новые, ранее не применявшиеся в производстве, науке и образовании возможности для адаптации уже имеющихся и создания новых форматов ведения бизнеса. Подобная цифровая трансформация в энергетике является составной частью более широкого глобального явления, получившего название «четвертая промышленная революция» (или индустрия 4.0).

Как правило, выделяются основные направления, которые в определенных комбинациях часто относят к одной из современных перспективных тенденций развития цифровизации энергетики:

- «умные устройства – потребители энергии». Фактически сегодняшние простые потребители могут перейти из разряда пассивных в активных участников системы. Это обеспечивается за счет способности оборудования на стороне потребления оптимизировать режимы отбора электроэнергии в зависимости от нагрузки системы (тарифной сетки) и конечных потребностей в работе оборудования;

- «умные сети» – основополагающий элемент системы, позволяющий интегрировать и обеспечивать эффективное функционирование всех ее элементов (производителей электроэнергии, потребителей, аккумулирующего оборудования, сетевой инфраструктуры) с учетом новых технологических возможностей в реальном режиме времени. Одним из главных требований к «умным» сетям является надежность функционирования и обеспечение возможности быстрого самовосстановления в случае сбоев. При этом «умная сеть» должна обеспечивать возможность участия в работе системы активных потребителей, узлов аккумулирования и гибко синхронизировать нагрузку и управлять ей. «Умные сети» в совокупности с «умными» устройствами потребления создают условия для формирования интернета вещей в электроэнергетике;

- для устойчивой работы «умных сетей» и взаимодействия на уровне интернета вещей требуется масштабная цифровизация элементов цепочки поставок и использование технологий работы с большими объемами данных, причем в режиме реального времени;

- усложнение системы неизбежно приводит и к повышению рисков отказов, например, в ходе обновления программного обеспечения, содержащего ошибки, на отдельных ее элементах. Поэтому все большую актуальность приобретает создание цифровых двойников реальных систем, на которых будет возможность отрабатывать не только надежность нового программного обеспечения и оборудования, но и моделировать различные нештатные ситуации с тестированием средств реагирования;

- развитие распределенной генерации. Новые решения в области производства и хранения электроэнергии с одновременным развитием «умных сетей» позволяют подключать к системе все больше распределенных устройств, отдающих электроэнергию в сеть. Это может быть как электроэнергия, произведенная на локальных источниках, так и энергия из систем аккумулирования [7, с. 28–29].

Ремарка о проделанной работе в сторону развития технологии «умных сетей» для возобновляемой энергетики Беларуси. Рост доли возобновляемых источников энергии в энергетической отрасли Беларуси требует эффективных новых подходов к управлению сетями. Одним из наиболее эффективных подходов может быть внедрение технологии «умных энергосетей», возможности применения которых в Беларуси прорабатывает проект «Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь» в партнерстве с Австрийским энергетическим агентством.

Идея внедрения в Беларуси системы «умных сетей» для развития ветроэнергетики – результат участия руководства Минприроды и белорусских экспертов в Белорусско-Австрийском экономическом форуме в ноябре 2019 года. На форуме Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Австрийским энергетическим агентством подписан Меморандум о взаимопонимании.

Первым шагом к изучению и последующему применению опыта Австрии в развитии «умных сетей» стала совместная работа австрийских и белорусских экспертов по изучению национальных условий развития возобновляемой энергии и подготовка рекомендаций по развитию «умных сетей» в Беларуси для увеличения доли ВИЭ, включая энергию ветра, в энергетическом балансе страны.

Органами государственного управления и научным сообществом предлагается системный подход по оптимальному использованию цифровых технологий для интеграции возобновляемых источников в национальную энергетическую сеть. Все это в итоге, безусловно, увязывается с ЦУР-2030 (п. 7–9, 11–13 стратегии) [8].

Примером успешного внедрения цифровых решений для возобновляемой энергетики может послужить совместный пилотный проект европейского оператора электросетей TenneT и немецкого производителя Sonnen, которые хотят перераспределить излишки энергии, вырабатываемой ветряными турбинами и солнечными панелями, при помощи объединенной системы домашних систем хранения электроэнергии.

Результаты и их обсуждение

О важности и необходимости внедрения такого рода «умных сетей» и устройств можно говорить много. Потенциальный экономический эффект для всех участников процесса неоспорим. Это экономия затрат за счет снижения энергопотребления; экономия затрат и издержек для бизнес-сообщества в части распределения генерации энергии для предприятий, домашних хозяйств и иной инфраструктуры; развитие современной инфраструктуры «по последнему слову техники». Но для этого приведем несколько важных значений, объясняющих лишь часть той трансформации, которая оказывает диджитализация и внедрение цифровых платформ и технологий непосредственно на энергетический сектор. Так, расчеты, проведенные Национальной лабораторией по возобновляемым источникам энергии США, говорят, что внедрение «умных» энергосетей способно снизить потребление энергии на 10–15 % и спрос в пиковые часы до 66 % от первоначального значения.

Для экономики США это уже свершившийся факт. При переходе на «умные» энергосети финансовый эффект в виде дивидендов и экономии издержек в производстве и генерации энергии составил порядка 15 млрд долл. (2020 г.) Для более подробного ознакомления правила разработки «умных сетей» и устройств определены в «Платформе умных сетей энергоснабжения» на сайте www.smartgrid.eu [5, с. 139–140].

Выводы

В результате исследования готовности экономики Республики Беларусь к процессам применения регулятивных мер со стороны государства в отношении компаний, осуществляющих цифровую трансформацию, а также оценки влияния факторов на эти процессы были сделаны следующие выводы.

1. В ряде государств ЕС принято решение по применению регулятивных мероприятий с целью сдерживания веса бигтех-компаний для оказания поддержки компаниям, имеющим меньший вес в данной сфере (Великобритания), или по введению повышающего коэффициента уплаты налога для крупных IT-компаний с учетом применения прогрессивного налогообложения (Франция). В этом случае правительствам этих стран не стоит в том числе забывать о естественном эволюционном процессе развития технических и технологических решений вне зависимости от того, что это происходит лишь в ряде компаний, а остальные окажутся в аутсайдерах. Ведь за счет зарегулированности процесса по сдерживанию бигтех-компаний можно получить и сдерживание научно-технологического прогресса и глобализации экономики в целом.

2. Что касается применения прогрессивного налогообложения во Франции для IT-компаний, находящихся под юрисдикцией данного государства, то здесь следует уточнить ряд аспектов, а именно не отпугнет ли эта мера данные компании и не поспособствует ли изменению в дальнейшем страны пребывания своего бизнеса для собственника. Возможно,

это стало определяющим для развития компании, где регистрировать свой бизнес, так как во Франции ниже процентные ставки по налогам по сравнению с их соседями.

3. Все принципы регуляторики и построения цифровой экономики, очевидно, не применимы для Республики Беларусь (если брать во внимание опыт Великобритании, Франции и иных государств). Для развития цифровой экономики уже сейчас наметились прорывные секторы развития (вычислительная техника, консалтинг в IT, цифровизация в медицине, педагогике, энергетике). Но следует также понимать, что более интенсивный процесс цифровизации возможен при тесном совместном участии государства, бизнеса, науки, международных экспертных кругов. Все это сможет подтянуть Республику Беларусь в пул передовых стран. Так, согласно рейтингу стран по уровню развития электронного правительства EDGI-2018 мы расположились на 38-м месте из 193 стран, в рейтинге стран по уровню электронного участия EPART-2018 – на 33-м месте. Автор видит перспективы роста в данном рейтинге не за счет слепого копирования опыта лидеров в нем, а за счет внедрения собственных цифровых решений и продуктов в общественную и производственную деятельность.

Список литературы

1. Пресс-релиз. Новый режим конкуренции для технологических гигантов, чтобы предоставить потребителям больше выбора и контроля над своими данными, а также обеспечить справедливое отношение к бизнесу [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gov.uk/government/news/new-competition-regime-for-tech-giants-to-give-consumers-more-choice-and-control-over-their-data-and-ensure-businesses-are-fairly-treated>. Дата доступа: 13.04.2021.
2. Великобритания создает орган по контролю за бигтехом [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dev.by/news/velikobritaniya-sozdayot-organ-po-kontrolyu-za-bigtehom>. Дата доступа: 14.04.2021.
3. Франция начала собирать налог с бигтех-компаний [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dev.by/news/frantsiya-nachinaet-sobirat-nalog-s-bigteh-kompanii>. Дата доступа: 14.04.2021.
4. G7 заключила знаковое соглашение о ставке налога на гигантские корпорации [Электронный ресурс]. Режим доступа: [//www.reuters.com/article/orutp-g7-finance-idRUKCN2DJ0LS-ORUTP](https://www.reuters.com/article/orutp-g7-finance-idRUKCN2DJ0LS-ORUTP). Дата доступа: 12.10.2021.
5. Ковалев М.М., Головенчик Г.Г. Цифровая экономика – шанс для Беларуси. Минск: Изд. центр БГУ; 2018.
6. Головенчик Г.Г. Цифровизация белорусской экономики в современных условиях глобализации. Минск: Изд. центр БГУ; 2019.
7. Галкин Ю.В., Галкина А.А., Грушевенко Д.А., Капустин Н.О., Козина Е.О., Кулагин В.А., Мельникова С.И., Миронова И.Ю., Овчинникова И.Н., Трошина Н.В., Яковлева Д.Д. Перспективы развития мировой энергетики с учетом влияния технологического прогресса. / Под ред. В.А. Кулагина. М.: ИНЭИ РАН; 2020.
8. Как технологии «умных сетей» помогут ветроэнергетике Беларуси? [Электронный ресурс]. Режим доступа: [//www.by.undp.org/content/belarus/ru/home/presscenter/blog/smartgrid_technologies_windpower.html](https://www.by.undp.org/content/belarus/ru/home/presscenter/blog/smartgrid_technologies_windpower.html). Дата доступа: 13.04.2021.

References

1. [Press release. New competition regime for tech giants to give consumers more choice and control over their data, and ensure businesses are fairly treated]. Available at: <https://www.gov.uk/government/news/new-competition-regime-for-tech-giants-to-give-consumers-more-choice-and-control-over-their-data-and-ensure-businesses-are-fairly-treated>. Accessed: 13.04.2021. (In Eng).
2. [The UK is creating a bigtech control body]. Available at: <https://dev.by/news/velikobritaniya-sozdayot-organ-po-kontrolyu-za-bigtehom>. Accessed: 14.04.2021. (In Russ).
3. [France began collecting tax on bigtech companies]. Available at: <https://dev.by/news/frantsiya-nachinaet-sobirat-nalog-s-bigteh-kompanii>. Accessed: 14.04.2021. (In Russ.)
4. [G7 strikes landmark tax rate agreement on giant corporations]. Available at: <https://www.reuters.com/article/orutp-g7-finance-idRUKCN2DJ0LS-ORUTP>. Accessed: 12.10.2021. (In Russ).
5. Kovalev M.M., Golovenchik G.G. [Digital economy is a chance for Belarus monograph]. Minsk: Publishing house of BSU; 2018. (In Russ.)
6. Golovenchik G. [Digitalization of the Belarusian economy in the modern conditions of globalization]. Minsk: Publishing house of BSU; 2019. (In Russ.)

7. Galkin Yu.V., Galkina A.A., Grushevenko D.A., Kapustin N.O., Kozina E.O., Kulagin V.A., Melnikova S.I., Mironova I.Yu., Ovchinnikova I. N., Troshina N.V., Yakovleva D.D. [Prospects for the development of world energy, taking into account the influence of technological progress]. Ed. V.A. Kulagin. M.: INEI RAS4 2020. (In Russ.)
8. [How will smart grid technologies help Belarus wind energy?]. Available at: // www.by.undp.org/content/belarus/ru/home/presscenter/blog/smartgrid_technologies_windpower.html. Accessed: 13.04.2021. (In Russ.)

Сведения об авторах

Цедрик А.В., научный сотрудник института экономики НАН Беларуси.

Information about the authors

Tsedrik A.V., Researcher at the Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus.

Адрес для корреспонденции

220072, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Сурганова, 1, к. 2,
ГНУ «Институт экономики НАН Беларуси»;
тел. +375-17-379-17-48;
тел. +375-29-279-23-57;
e-mail: aleksandr.cedrik.90@mail.ru
Цедрик Александр Вячеславович

Address for correspondence

220072, Republic of Belarus,
Minsk, str. Surganova, 1, r. 2,
Institute of Economics of the National
Academy of Sciences of Belarus;
tel. +375-17-379-17-48;
tel. +375-29-279-23-57;
e-mail: aleksandr.cedrik.90@mail.ru
Tsedrik Aleksandr Vyacheslavovich



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-1-71-81>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.41, 616.9; 338:364

АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ГЕНОМОВ КОРОНАВИРУСА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ И ЗАДАЧ СОВРЕМЕННОЙ ИММУНОИНФОРМАТИКИ, ВАКЦИНОМИКИ И ВИРУСОЛОГИИ

М.В. СПРИНДЖУК, А.С. ВЛАДЫКО, Л.П. ТИТОВ, ЛУ ЧЖОЧЖУАН, В.И. БЕРНИК

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 20 апреля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Пандемия нового коронавируса стала причиной стимуляции научной активности вирусологии и междисциплинарных наук, таких как медицинская кибернетика и биоинформатика. Статья сфокусирована на вопросах изучения алгоритмов обработки биоинформационных данных геномной природы для целей преимущественно иммуноинформатики и вычислительной вакцинологии. Приводятся разработанные авторами схемы алгоритмов анализа биоинформационных данных. Алгоритмы, разработанные авторами на основе анализа доступной литературы и многолетнего опыта вычислительных и лабораторных экспериментов для обработки геномной информации, можно применять не только для дизайна и анализа компонентов эпитопных вакцин, но и для других задач вычислительной вирусологии и микробиологии. *In silico* эксперименты по анализу биоинформационных данных относительно малозатратны и многоинформативны, но требуют от ученого высокой квалификации, длительного опыта и, соответственно, широкого спектра знаний и навыков. Однако для полноценного анализа и внедрения, к примеру, эпитопных вакцин, требуется последующая валидация лабораторными и *in vivo* экспериментами.

Ключевые слова: SARS-CoV-2, COVID-19, коронавирус, пандемия, автоматизированные системы обработки данных, медицинская кибернетика, геномика, системы медицинского назначения, иммуноинформатика.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Спринджук М.В., Владыко А.С., Титов Л.П., Чжочжуан Лу, Берник В.И. Алгоритмы обработки геномов коронавируса для целей и задач современной иммуноинформатики, вакциномии и вирусологии. Цифровая трансформация. 2022; 28(1): 71-81.

ALGORITHMS FOR PROCESSING CORONAVIRUS GENOMES FOR THE GOALS AND OBJECTIVES OF MODERN IMMUNOINFORMATICS, VACCINOMICS AND VIROLOGY

MATVEY V. SPRINDZUK, ALEXANDER S. VLADYKO, LEONID P. TITOV,
LU ZHUOZHANG, VASSILII I. BERNIK

*United Institute for Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus
(Minsk, Republic of Belarus)*

Submitted 20 April 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The novel coronavirus pandemic has stimulated the scientific activity of virology and interdisciplinary sciences: medical cybernetics and bioinformatics. The article is focused on the study of algorithms for processing bioinformatic data of genomic origin predominantly for the purposes of predominantly immunoinformatics and computational vaccinology. The schemes of algorithms developed by the authors for the analysis of bioinformatic data are presented. The algorithms for processing genomic information developed by the authors based on the analysis of the available literature and many years of experience in computational and laboratory experiments can be used not only for the design and analysis of epitope vaccine components, but also for the other tasks of computational virology and microbiology. In silico experiments on the analysis of bioinformatic data are relatively low-cost and multi-informative, but they require highly qualified scientists with extensive experience, interdisciplinary training, and, accordingly, a wide range of knowledge and skills. However, for the complete analysis and implementation of, for example, the epitope vaccines, subsequent validation by the laboratory and in vivo experiments are required.

Keywords: SARS-CoV-2, COVID-19, coronavirus, epidemic, pandemic, automated data processing systems, software, medical cybernetics, genomics, transcriptomics, medical systems, immunoinformatics.

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

For citation. Sprindzuk M.V., Vladyko A.S., Titov L.P., Zhuozhuang Lu, Bernik V.I. Algorithms for Processing Coronavirus Genomes for the Goals and Objectives of Modern Immunoinformatics, Vaccinomics, and Virology. Digital Transformation. 2022; 28(1): 71-81.

Введение

Вопросы разработки алгоритмов обработки данных геномов особо опасных вирусов уже частично освещены в научных публикациях авторов из крупнейших научно-исследовательских центров вирусологии и тропических инфекций [1].

В нескольких источниках представлены алгоритмы анализа геномных текстов вируса Зика [2, 3], лихорадки Западного Нила [4], Чикунгуни [5], Нипа [6], Эболы [7, 8], африканской чумы свиней [9], MERS (ближневосточный респираторный синдром, БВРС) [10–12], SARS (тяжелый острый респираторный синдром, ТОРС) [13], предшествующих современной пандемии COVID-19 (Coronavirus disease 2019, коронавирусная болезнь 2019).

Недавно в печати появились статьи и главы монографий по теме алгоритмов обработки данных геномов для разработки рационального дизайна антиковидной пептидной вакцины [14]. Также имеются сообщения об успешности антигерпесной и антименингококковой эпитопных вакцин [15–17].

Практические задачи биоинформационного анализа геномов нового коронавируса и алгоритмы обработки данных

В рамках текущего научного проекта в сотрудничестве с Китаем были поставлены следующие биоинформационные задачи, с учетом которых были разработаны алгоритмы обработки коронавирусных геномных данных для проектирования и реализации конечной цели производства антиковидной векторной эпитопной пептидной вакцины (рис. 1–4).

1. Выполнение сравнения структурного сходства генов различных штаммов и образцов коронавирусов.

Данная задача может решаться с помощью *аннотирования* (в русскоязычной литературе встречается также термин *аннотация* как перевод с англ. *annotation*) исходных геномных текстов программным обеспечением BLAST, Prokka [18] и InterProScan, путем выравнивания контигов на ссылочный геном или множественным выравниванием коронавирусных геномов. Недавно появились новые алгоритмы сравнения и поиска строк нуклеотидов и аминокислот без выравнивания и картирования с применением технологии анализа k-меров и молекулярных мотивов [19].

Если имеются исходные FASTQ-данные (короткие от Illumina, IonTorrent или длинные от секвенаторов Oxford Nanopore, PacBio), то выполняется так называемая *de novo* сборка (рис. 5, 6). Считается, что короткие прочтения имеют меньше ошибок, но не могут отобразить весь геномный материал в его единстве, как стало возможно благодаря технологиям получения длинных прочтений.

2. Филогенетический и филодинамический эволюционный кластерный анализ белорусских геномных образцов патогенных коронавирусов человека (рис. 7, 8). Алгоритм имеет общие шаги с алгоритмами вычисления мутационного профиля и аннотирования.

3. Оценка варибельности и стабильности участков геномов. Эти две задачи решаются применением программного обеспечения для множественного выравнивания контигов и кластеризацией, нормализацией, трансформацией, визуализацией полученных результатов (рис. 8).

4. Формирование списка потенциальных эпитопов. Задача может решаться применением комплексного программного обеспечения Vaxign [16, 17] в связке с IEDB (The Immune Epitope Database) [20] или кастомными скриптами и отдельными компьютерными программами, реализующими алгоритмы различных нейронных сетей, гибридных моделей машинного обучения, Байесова анализа, марковских моделей, вычисления схожести и различий по метрикам расстояний, энтропии, нечеткой логики.

5. Отбор и анализ (оценка иммуногенности, аллергенности, сродства к клеточным рецепторам организма-хозяина) эпитопов для моделирования вакцины *in silico*. Две эти задачи решаются путем отбора и агрегации исходных геномных текстов и их сканирования через конвейер программного обеспечения для вычисления потенциальной иммуногенности, поверхностного расположения, вакцинопригодности и токсичности/аллергенности активности с рецепторами организма-реципиента (рис. 2, 3).

6. Важное значение также имеет изучение метагеномов из посевов и биоптатов пациентов COVID-19, а также из окружающей среды (рис. 9). Научное обоснование представленных в статье алгоритмов – это экспертное мнение его авторов, основанное на 13-летнем личном опыте обработки и анализа геномов микобактерии туберкулеза [21], синегнойной палочки и менингококков, транскриптомов растений [22, 23], элементов генома человека [24, 25], на опыте вирусологических [26–29] и иммунологических исследований [30], а также связаны с наработанными навыками и знаниями разработки программного обеспечения автоматизации анализа биоинформационных данных геномной природы. В ряде приведенных публикаций детально рассмотрены определения предметной области, методики анализа данных, обоснование выбора программного обеспечения и вопросы иммунологии и эпидемиологии особо опасных инфекций. Общим для всех разработанных алгоритмов является, то, что входные данные представлены геномными текстами, над которыми в ходе выполнения алгоритма совершается множество вычислительных операций, и на выходе генерируется отчетная информация в виде таблиц и графиков, представляющих описательную информацию математической, биофизической и биохимической природы.

Ограничения и проблемы *in silico* биоинформационного анализа геномов вирусов и выводы

Решающее значение для *in silico* биоинформационного анализа геномов имеет качество исходных данных. Ошибки в референсных базах данных могут привести к неправильным заменам аминокислот, что в результате закончится синтезированием неэффективного иммуногена, неспособного связывать антигены и производить достаточно сильный противовирусный иммунный ответ. Большое значение также имеет рациональный подход к выбору параметров настройки каждого звена конвейера обработки данных (рис. 3). Есть также доказательство, что разные сборщики геномов приводят к различным результатам реорганизации исходного геномного материала, а в итоге – к различиям в аннотировании генов [31]. Наиболее верными показателями качества и эффективности полученных эпитопов и их организованного ансамбля в дизайне вакцины могут быть только *in vitro* и *in vivo* эксперименты, точнее их серии.

Для синтеза искусственных пептидов-иммуногенов могут быть применены не только вычисленные и обоснованные эпитопы, но и проаннотированные регионы геномного текста, которые имеют определенный патогенетический смысл, например, гипотетически обуславливают связывание с рецепторами пациента [32].

Современная отечественная вычислительная вирусология нуждается в усовершенствовании, оптимизации и адаптации методологии, алгоритмов, моделей и методик анализа биоинформационных данных геномной природы. Междисциплинарность биоинформационных теоретических научных исследований и практических вычислительных экспериментов усложняет процесс подготовки специалистов широкого профиля, способных эффективно решать новые задачи, которые появляются по причине роста заболеваемости и смертности от вирусной патологии неясного патогенеза (рис. 1–3).



Рис. 1. Схема междисциплинарного представления алгоритмов обработки биоинформационных данных геномов

Fig. 1. Scheme of interdisciplinary presentation of algorithms for processing bioinformatic data of genomes

В статье представлены алгоритмы обработки биоинформационных геномных данных на примере нового коронавируса. Данные алгоритмы представляют собой квинтэссенцию современной практической биоинформатики в предметной области вычислительной вирусологии и иммунологии и могут быть полезны широкому кругу исследователей: биоинформатикам, программистам, геномикам, биохимикам, медикам и биологам для решения различных фундаментальных и прикладных задач современной науки, в частности, для изучения эволюции и патогенности вирусов и для разработки средств противовирусной профилактики и лечения.

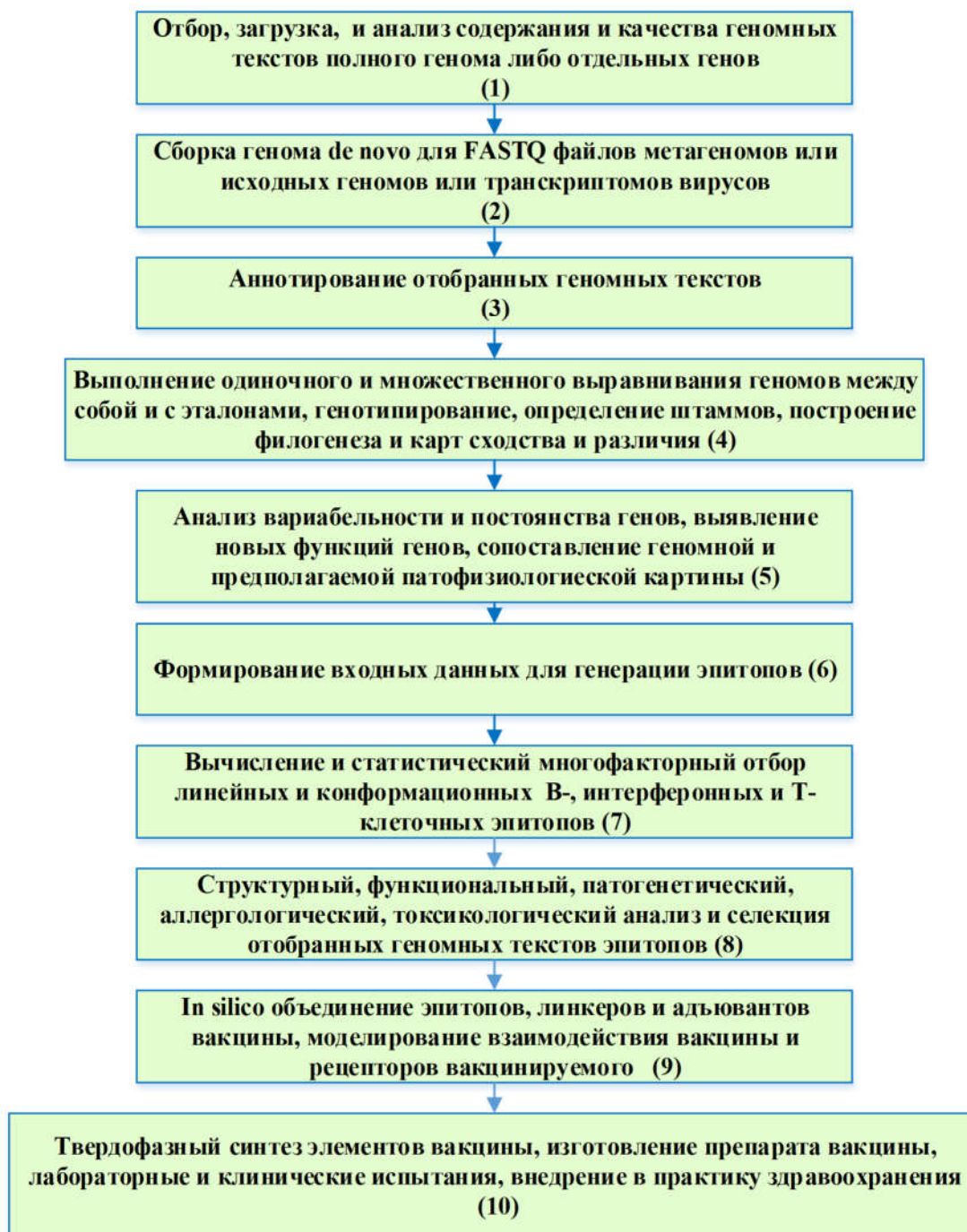


Рис. 2. Техническое представление общего алгоритма разработки эпитопной вакцины
Fig. 2. Technical presentation of the principal algorithm for the development of an epitope vaccine

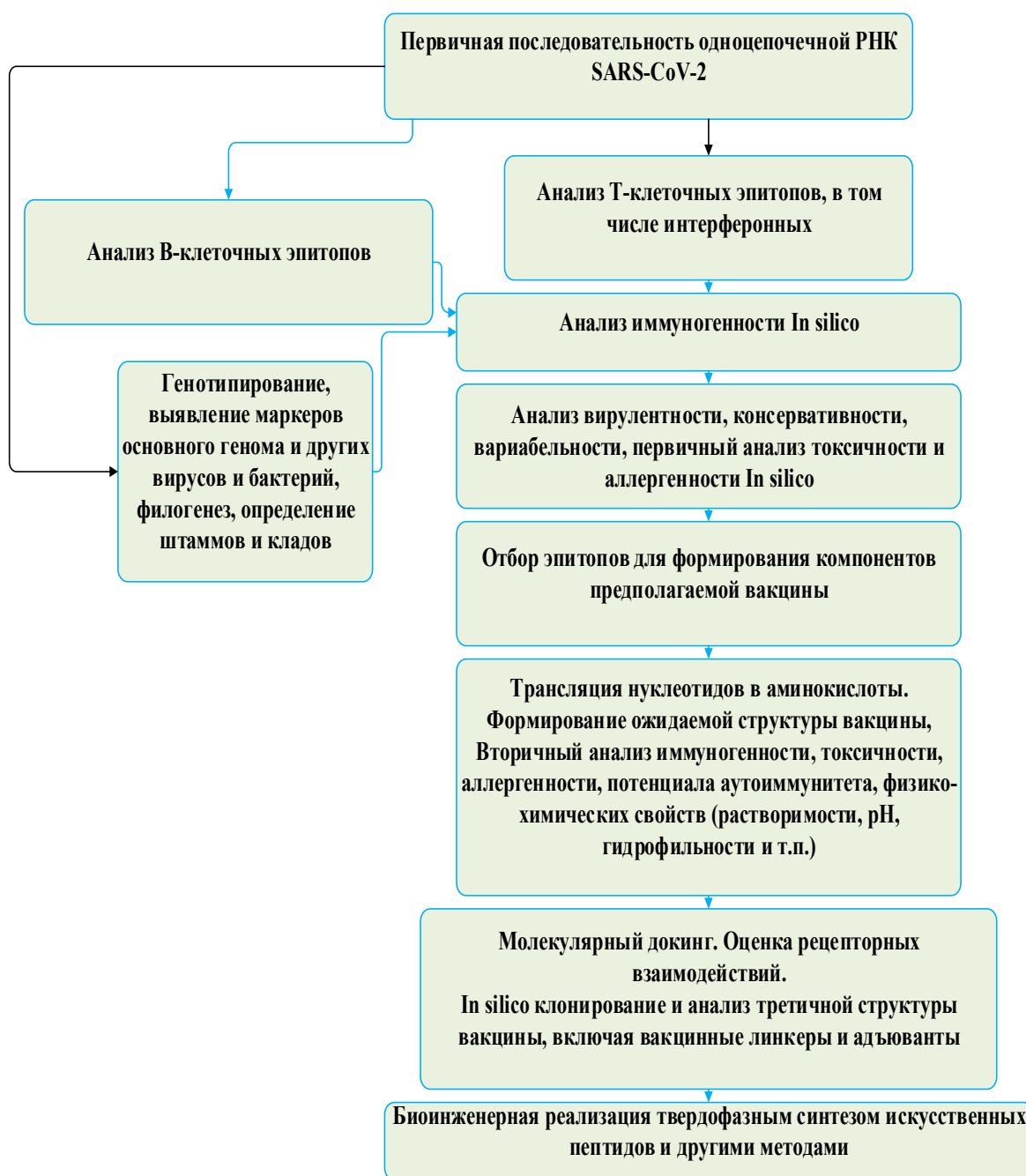


Рис. 3. Медицинское (иммунологическое) представление общего алгоритма разработки эпитопной вакцины

Fig. 3. Medical (immunological) representation of the principal algorithm for the development of an epitope vaccine

На основе данных научной литературы и опыта вычислительных экспериментов авторами разработаны алгоритмы обработки геномов коронавируса для целей и задач современной иммуноинформатики, вакциномтики и вирусологии. Алгоритмы могут быть применены и адаптированы для разработки эпитопных вакцин против опасных и особо опасных вирусов различного происхождения (рис. 4–9). Для реализации разработанных алгоритмов может быть использовано различное программное обеспечение и его элементы, ансамбли и комплексы.

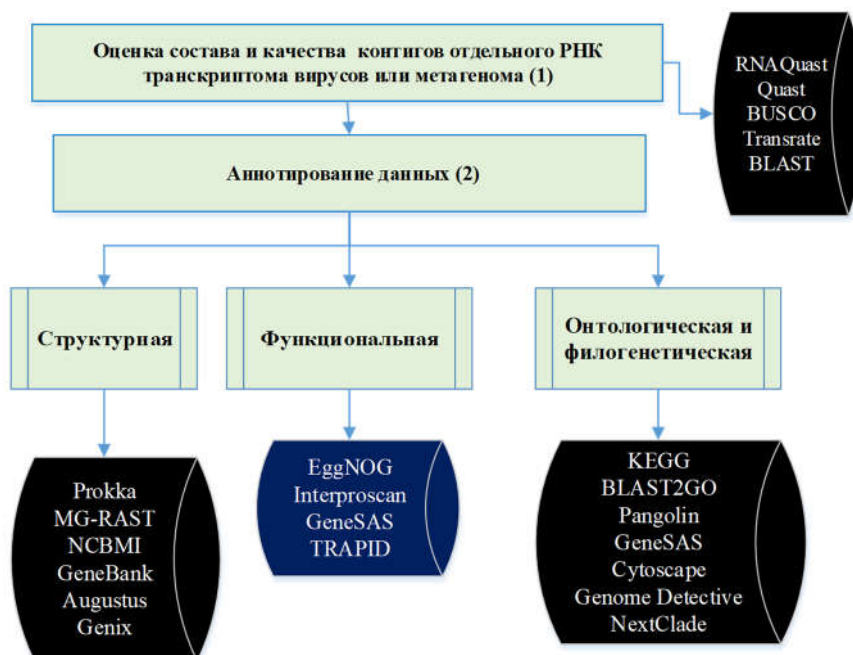


Рис. 4. Алгоритм многопрофильного аннотирования контигов SARS-CoV-2

Fig. 4. Algorithm for the multi-profile annotation of SARS-CoV-2 contigs

BUSCO – Benchmarking Universal Single-Copy Orthologs (составительный анализ универсальных однокопийных ортологов), KEGG – Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (Киотская энциклопедия генов и геномов), BLAST – Basic Local Alignment Search Tool (базовый инструмент поиска методом локального выравнивания), MG-RAST – Metagenomics RAST (быстрое аннотирование с использованием технологии подсистем), EggNOG – Evolutionary Genealogy of Genes: Non-supervised Orthologous Groups (эволюционная генеалогия генов: неконтролируемые ортологические группы).

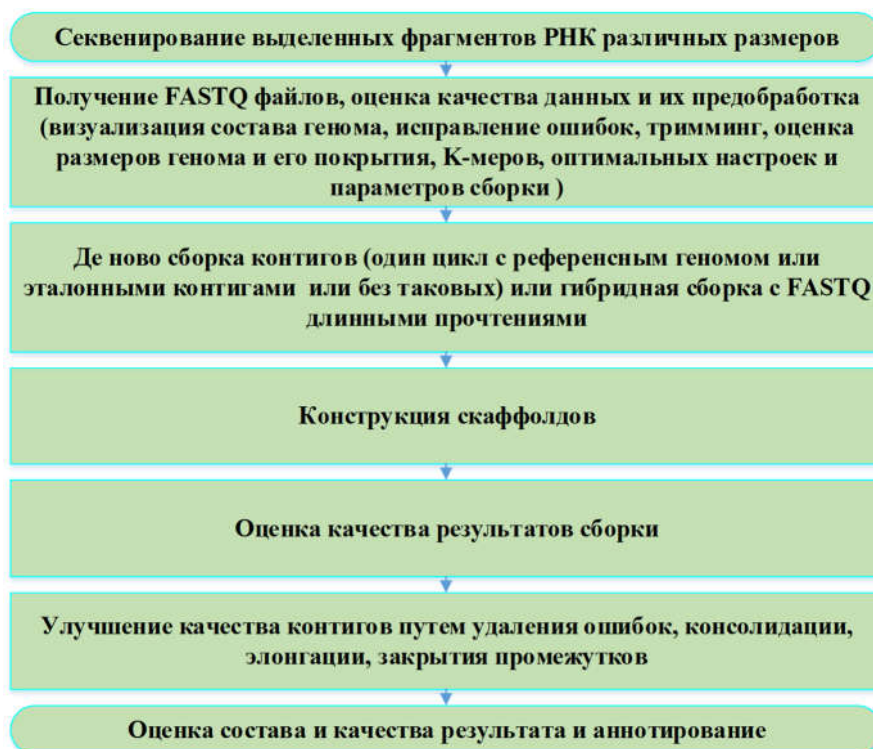


Рис. 5. Алгоритм de novo сборки геномов вируса из коротких прочтений

Fig. 5. Algorithm for the de novo assembly of virus genomes from the short reads

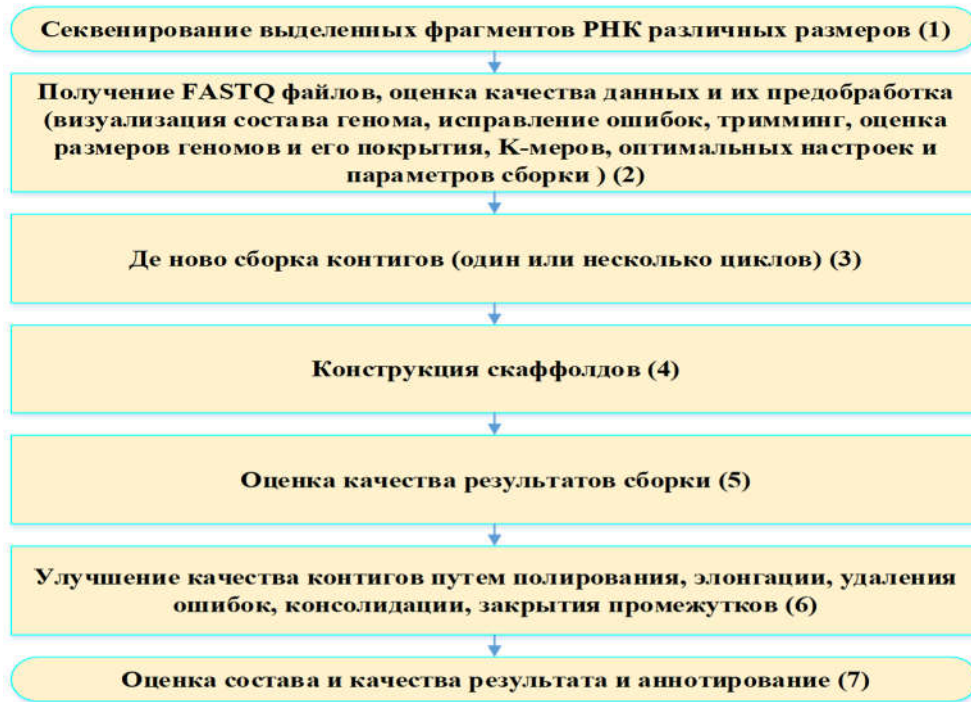


Рис. 6. Алгоритм de novo сборки геномов вируса из длинных прочтений
Fig. 6. Algorithm for de novo assembly of virus genomes from the long reads



Рис. 7. Алгоритм мутационного профилирования одиночным выравниванием: VCF – variant call format (формат запроса вариантов), BAM – binary alignment (бинарный файл выравнивания), FASTQ – текстовый FASTA-формат с добавлением колонки оценки качества данных

Fig. 7. Single (pairwise) alignment mutation profiling algorithm: VCF – variant call, BAM – binary alignment (binary alignment file), FASTQ – a text FASTA format with the addition of a data quality assessment column



Рис. 8. Алгоритм эволюционного биоинформационного анализа по геномным данным
Fig. 8. Algorithm for evolutionary bioinformatics analysis based on genomic data

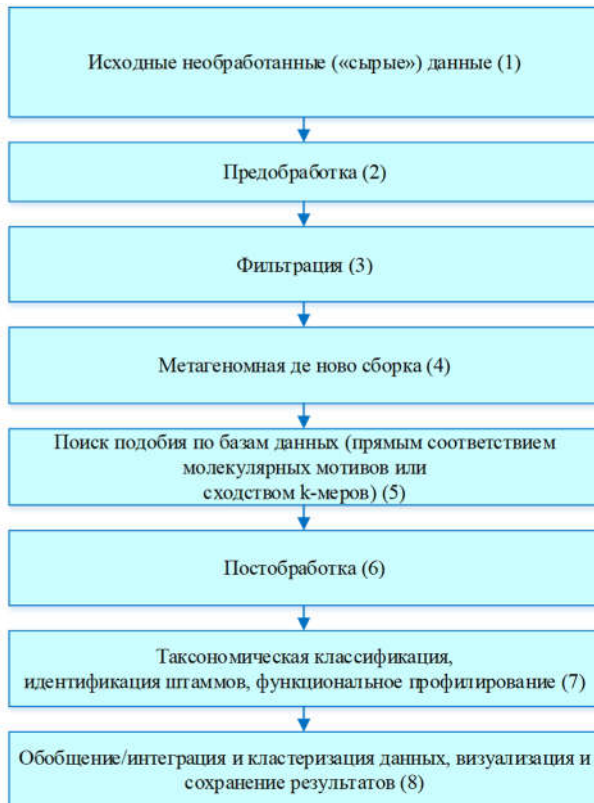


Рис. 9. Общий алгоритм обработки метагеномных данных
Fig. 9. Principal algorithm for processing the metagenomic data

Список литературы / References

1. Frishman D., Marz M. Virus Bioinformatics. New York: CRC Press; 2021.
2. Ezzemani W., Windisch M.P., Kettani A., Altawalah H., Nourlil J., Benjelloun S., Ezzikouri S. Immunoinformatics-based identification of novel potential B cell and T cell epitopes to fight Zika virus infections. *Infect Disord Drug Targets*. 2021;21(4):572-581. DOI: 10.2174/1871526520666200810153657
3. Alam A., Ali S., Ahamad S., Malik M.Z., Ishrat R. From ZikV genome to vaccine: in silico approach for the epitope-based peptide vaccine against Zika virus envelope glycoprotein. *Immunology*. 2016;149(4):386-399.
4. Waller F.M., Reche P.A., Flower D.R. West Nile Virus Vaccine Design by T Cell Epitope Selection: In Silico Analysis of Conservation, Functional Cross-Reactivity with the Human Genome, and Population Coverage. *J Immunol Res*. 2020;2020:7235742.
5. Dutta S.K., Bhattacharya T., Tripathi A. Chikungunya virus: genomic microevolution in Eastern India and its in-silico epitope prediction. *3 Biotech*. 2018;8(7):318.
6. Sakib M.S., Islam M.R., Hasan A.K., Nabi A.H. Prediction of epitope-based peptides for the utility of vaccine development from fusion and glycoprotein of nipah virus using in silico approach. *Adv Bioinformatics*. 2014;2014:402492.
7. Ali M.T., Islam M.O. A Highly Conserved GEQYQLR Epitope Has Been Identified in the Nucleoprotein of Ebola Virus by Using an In Silico Approach. *Adv Bioinformatics*. 2015;2015:278197.
8. Bazhan S.I., Antonets D.V., Karpenko L.I., Oreshkova S.F., Kaplina O.N., Starostina E.V., Dudko S.G., Fedotova S.A., Ilyichev A.A. In silico Designed Ebola Virus T-Cell Multi-Epitope DNA Vaccine Constructions Are Immunogenic in Mice. *Vaccines (Basel)*. 2019;7(2):34.
9. Mima K.A., Katorkina E.I., Katorkin S.A., Tsybanov S.Zh., Malogolovkin A.S. In silico identification of B- and T-cell epitopes of the CD2v protein of African swine fever virus (Asfvirus, Asfarviridae). *Questions of virology*. 2020;65(2):103-112.
10. Du L., Li F. MERS-CoV. MDPI AG; 2019.
11. House N.N.C., Sheeba P., Honey S. Corona viruses: a review on SARS, MERS and COVID-19. *Microbiology Insights*. 2021;14(11786361211002481).

12. Huh J.E., Han S., Yoon T. Data mining of coronavirus: SARS-CoV-2, SARS-CoV and MERS-CoV. *BMC research notes*. 2021;14(1):150.
13. Ulanova T., Puzryev V., Ryabinina S., Burkov A., Obryadina A. Theoretical prediction of antigenic epitopes of severe acute respiratory syndrome virus (SARS-CoV) proteins and assessment of their diagnostic significance. *Questions of virology*. 2005;50(5):22-24.
14. Li M., Zeng J., Li R., Wen Z., Cai Y., Wallin J., Shu Y., Du X., Sun C. Rational Design of a Pan-Coronavirus Vaccine Based on Conserved CTL Epitopes. *Viruses*. 2021;13(2):333.
15. Xiang Z., He Y. Genome-wide prediction of vaccine targets for human herpes simplex viruses using Vaxign reverse vaccinology. *BMC Bioinformatics*. 2013;14(1):S2.
16. Ong E., Wang H., Wong M.U., Seetharaman M., Valdez N., He Y. Vaxign-ML: supervised machine learning reverse vaccinology model for improved prediction of bacterial protective antigens. *Bioinformatics*. 2020;36(10):3185-3191.
17. He Y., Xiang Z., Mobley H.L. Vaxign: the first web-based vaccine design program for reverse vaccinology and applications for vaccine development. *J Biomed Biotechnol*. 2010;2010(Epub 2010 Jul 4.):297505.
18. Seemann T. Prokka: rapid prokaryotic genome annotation. *Bioinformatics*. 2014;30(14):2068-9.
19. Kucherov G. Evolution of biosequence search algorithms: a brief survey. *Bioinformatics*. 2019;35(19):3547-52.
20. Vita R., Mahajan S., Overton J.A., Dhanda S.K., Martini S., Cantrell J.R., Wheeler D.K., Sette A., Peters B. The Immune Epitope Database (IEDB): 2018 update. *Nucleic Acids Res*. 2019;47(D1):D339-D343.
21. Sprindzuk M.V., Titov L.P., Skryahin A.E., Skryahina E.M., Konchits A.P., Zalutskaya O.M., Gilep A.P., Slizen V.V. Software package for practical processing of genomic data of *Mycobacterium tuberculosis*. *Molecular and applied genetics*. 2019;27:46-51.
22. Sprindzuk M.V., Konchits A.P., Slizen V.V., Titov L.P. Algorithms and software for processing the plant genome data. *Molecular and applied genetics*. 2018;25:99-107.
23. Sprindzuk M.V., Mozharovskaya L.V., Konchits A.P., Titov L.P. Modern algorithms for processing transcriptome data: a review of methods and results of approbation. *Digital transformation*. 2021;(1):53-64.
24. Sprindzuk M.V., Titov L.P., Konchits A.P. Practical issues of creation and application of DNA banks for the purposes of forensics and related disciplines. *Digital transformation*. 2019;(1):49-59.
25. Sprindzuk M.V., Titov L.P., Lukyanov A.M., Demidchik Yu.E., Kolas Yu.A., Konchits A.P., Sergeev R.S., Gorbunov V.A. Processing and visualization of data obtained from DNA matrices. *Innovative technologies in medicine*. 2015;(2-3):98-110.
26. Lukashevich I.S., Maryankova R., Vladyko A.S., Nashkevich N., Koleda S., Djavani M., Horejsh D., Voitenok N.N., Salvato M.S. Lassa and mopeia virus replication in human monocytes/macrophages and in endothelial cells: Different effects on IL-8 and TNF- α gene expression. *Journal of medical virology*. 1999;59(4):552-60.
27. Vladyko A.S. The main genome and ecology. *Materials of the Interuniversity Scientific Congress (Moscow, December 18, 2019)*. M.: Ed. Infiniti, 2019:94-99.
28. Vladyko A.S. Biological weapons and the environment. *School of Science*. 2019;1(8):4-9.
29. Vladyko A.S. Origin of infections and somatic diseases: COVID-19. *School of Science*. 2020;1(2):10-13.
30. Samoilova T., Votjakov V., Titov L. Virologic and serologic investigations of West Nile virus circulation in Belarus. *Central European journal of public health*. 2003;11(2):55-62.
31. Islam R., Raju R.S., Tasnim N., Shihab I.H., Bhuiyan M.A., Araf Y., Islam T. Choice of assemblers has a critical impact on de novo assembly of SARS-CoV-2 genome and characterizing variants. *Briefings in Bioinformatics*. 2021;22(5):102.
32. Yadav N., Vishwakarma P., Khatri R., Siddqui G., Awasthi A., Ahmed S., Samal S. Comparative immunogenicity analysis of intradermal versus intramuscular administration of SARS-CoV-2 RBD epitope peptide-based immunogen In vivo. *Microbes Infect*. 2021;23(4-5):104843.

Вклад авторов

Спринджук М.В. осуществил постановку задачи для проведения исследования, разработал алгоритмы, подготовил рукопись статьи.

Владыко А.С. и Титов Л.П. участвовали в постановки целей и задач исследования, консультировали Спринджук М.В. по вопросам вирусологии и иммунологии, вычитывали рукопись статьи.

Чжочжуан Лу и Берник В.И. участвовали в создании концепции научного исследования.

Authors' contribution

Sprindzuk M.V. carried out the formulation of the problem for the study, developed the algorithms, prepared the manuscript of the article.

Vladyko A.S. and Titov L.P. participated in setting the goals and objectives of the study, advised Sprindzuk M.V. on issues of virology and immunology, proofread the manuscript.

Zhuozhuang Lu and Bernik V.I. participated in the creation of the concept of scientific research.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках проектов:

– M21COVID-001 «Разработка и скрининг мукозной вакцины против COVID-19 на основе векторной платформы кишечного аденовируса», № ГР 20210889 от 26.04.2021;

– Ф21МН-001 «Математическое моделирование передачи и распространения COVID-19-инфекции на основе систем дифференциальных уравнений и алгоритмов обработки данных с применением технологии машинного обучения», № ГР 20213518 от 27.09.2021;

– M21КОВИД-026 «Ретроспективный анализ клинического и иммунологического статуса групп COVID-19-пациентов с сопутствующим туберкулезом и ВИЧ-инфекцией по данным РНПЦ пульмонологии и фтизиатрии г. Минска», № ГР 20210456 от 31.03.2021.

Сведения об авторах

Спринджук М.В., к.т.н., старший научный сотрудник Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси.

Владыко А.С., д.м.н., профессор, главный научный сотрудник РНПЦ эпидемиологии и микробиологии МЗ РБ.

Титов Л.П., д.м.н., профессор, академик НАН Беларуси, заведующий лабораторией экспериментальной иммунологии РНПЦ эпидемиологии и микробиологии МЗ РБ.

Чжочжуан Лу, д.м.н., профессор, главный научный сотрудник Китайского центра по контролю и профилактике заболеваний.

Берник В.И., д. ф-м. н., главный научный сотрудник отдела теории чисел, профессор Государственного научного учреждения «Институт математики Национальной академии наук Беларуси».

Information about the authors

Sprindzuk M.V., TehSciPhD (Medical Systems Engineering), Senior Researcher at the United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus.

Vladyko A.S., Dr. of Sci. (Mathematics), Professor, Principal Researcher at the Republican Scientific and Practical Center for Epidemiology and Microbiology of the Belarus Ministry of Healthcare.

Titov L.P., Dr. of Sci. (Mathematics), Professor, Academic of NASB, Head of the Laboratory of Experimental Immunology, RRPC for epidemiology and microbiology.

Zhuozhuang Lu, Dr. of Sci. (Mathematics), Professor, Principal (Head) Researcher of the Chinese Center for Disease Control and Prevention.

Bernik V.I., Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), Head Researcher at the Department of Number Theory, professor at the State Scientific Institution «Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus».

Адрес для корреспонденции

220012, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Сурганова, 6,
Объединенный институт проблем информатики
НАН Беларуси;
тел. +375-33-682-57-55;
e-mail: bioinformatics_bel@yahoo.com
Спринджук Матвей Владимирович

Address for correspondence

220012, Republic of Belarus,
Minsk, Surganova st. 6,
United Institute Of Informatics Problems,
Belarus National academy of sciences;
tel. +375-33-682-57-55;
e-mail: bioinformatics_bel@yahoo.com
Sprindzuk Matvey Vladimirovich

