



## Уважаемые читатели и авторы!

Редакция журнала всегда 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.

Журнал «Цифровая трансформация» включен приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (направление «информатика, вычислительная техника и управление») и экономическим наукам. Также журнал индексируется в базах

Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), Directory of Open Access Journals (DOAJ), EconPapers.

С электронной версией журнала, редакционной политикой и правилами для авторов можно ознакомиться на сайте [dt.gias.by](http://dt.gias.by). Текст научной статьи для публикации можно подать с помощью специальной формы на сайте журнала или отправить его на электронный адрес [journal@unibel.by](mailto:journal@unibel.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

научно-практический журнал

*Выходит ежеквартально*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

**Главный редактор – В. А. Богуш**, д. ф.-м. н., ректор БГУИР, Минск, Беларусь

**В. Г. Сафонов**, д. ф.-м. н., проректор по научной работе, БГУ, Минск, Беларусь

**М. М. Ковалев**, д. ф.-м. н., профессор кафедры аналитической экономики и эконометрики, БГУ, Минск, Беларусь

**Т. В. Борботько**, д. т. н., заведующий кафедрой защиты информации, БГУИР, Минск, Беларусь

**А. Н. Курбацкий**, д. т. н., заведующий кафедрой технологий программирования, БГУ, Минск, Беларусь

**С. Ф. Миксюк**, д. э. н., профессор кафедры прикладной математики и экономической кибернетики, БГЭУ, Минск, Беларусь

**Г. О. Читая**, д. э. н., заведующий кафедрой прикладной математики и экономической кибернетики, БГЭУ, Минск, Беларусь

**А. В. Бондарь**, д. э. н., заведующий кафедрой экономической политики, БГЭУ, Минск, Беларусь

**Д. В. Косяков**, заместитель директора по развитию, научный сотрудник лаборатории наукометрии, ГПНТБ СО РАН, Новосибирск, Россия; научный сотрудник информационно-аналитического центра, ИНГГ СО РАН, Новосибирск, Россия

**Энрике Ордуна-Мале**, д. филос. н. (библиотечные и информационные науки), доцент, Политехнический университет Валенсии, Валенсия, Испания

**В. В. Глухов**, д. э. н., профессор, руководитель административного аппарата ректора, ФГАОУ ВО СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия

**В. А. Плотников**, д. э. н., профессор кафедры общей экономической теории и истории экономической мысли, СПбГЭУ, Санкт-Петербург, Россия

**Г. Г. Малинецкий**, д. ф.-м. н., профессор, заведующий отделом математического моделирования нелинейных процессов, ИПМ РАН, Москва, Россия

**Гинтаутас Дземида**, д. т. н., профессор, действительный член Академии наук Литвы, директор, Институт науки о данных и цифровых технологий Вильнюсского университета, Вильнюс, Литва

**Учредитель и издатель:** учреждение «Главный информационно-аналитический центр Министерства образования Республики Беларусь»

Издается с IV квартала 1995 г.

Ранее издание выходило под названием «Информатизация образования» (переименовано в 2017 г.).

Свидетельство о регистрации № 662 выдано 27.09.2017 г.

Министерством информации Республики Беларусь.

Все научные статьи проходят рецензирование.

**Приказом ВАК Республики Беларусь от 5 июля 2018 г. №168 журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований.**

Издание входит в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

## Подписные индексы:

75057 — для индивидуальных подписчиков, 750572 — для ведомственных подписчиков.

Редакторы: А. В. Атяшева, Ю.Н. Бартасевич, Д. И. Бондаренко.

Корректоры: А. В. Атяшева, Д. И. Бондаренко.

Макет и верстка: А. В. Атяшева.

Адрес редакции: г. Минск, ул. Казинца, д. 4. Тел. +375 (17) 250-12-00. E-mail: journal@unibel.by.  
<http://dt.giac.by>

Подписано в печать 16.09.2021. Бумага мелованная. Печать офсетная.

Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 8,84. Тираж 100 экз. Заказ № 6901

Отпечатано в унитарном предприятии «ИВЦ Минфина», ЛП 02330/54 от 12.08.2013 г., г. Минск, ул. Кальварийская, 17



# DIGITAL TRANSFORMATION

## Scientific and Practical Journal

*Publication frequency — quarterly*

### EDITORIAL BOARD

**Editor-in-chief – V. A. Bogush**, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Rector of the BSUIR, Minsk, Belarus

**V. G. Safonov**, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Vice-rector for Science, BSU, Minsk, Belarus

**M. M. Kovalev**, Doctor of Science (Physics and Mathematics), Professor of the Department of Analytical Economics and Econometrics, BSU, Minsk, Belarus

**T. V. Borbotko**, Doctor of Science (Technology), Head of the Department of Information Security, BSUIR, Minsk, Belarus

**A. N. Kurbackij**, Doctor of Science (Technology), Head of the Department of Programming Technologies, BSU, Minsk, Belarus

**S. F. Miksyuk**, Doctor of Science (Economics), Professor of the Department of Applied Mathematics and Economic Cybernetics, BSEU, Minsk, Belarus

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

**A. V. Bondar**, Doctor of Science (Economics), Head of the Department of Economic Policy, BSEU, Minsk, Belarus

**D. V. Kosyakov**, Deputy Director, Researcher of the Laboratory of Scientometrics, SPSTL SB RAS, Novosibirsk, Russia; Researcher of Information and Analytical Centre, IPGG SB RAS, Novosibirsk, Russia

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

**V. V. Glukhov**, Doctor of Science (Economics), Professor, SPbPU, Saint Petersburg, Russia

**V. A. Plotnikov**, Doctor of Science (Economics), Professor, SPbSUE, Saint Petersburg, Russia

**G. 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

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

**Founder and publisher:** Establishment "The Main Information and Analytical Center of the Ministry of Education of the Republic of Belarus".

The journal has been published since fourth quarter of 1995.

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

All scientific articles are peer reviewed.

**The journal is included in the List of Scientific Publications of the Republic of Belarus for publication of the results of dissertation research and in the database "Russian Index of Scientific Citation".**

Editors: A. V. Atsiasheva, Y. N. Bartasevich, D. I. Bondarenko.

Correctors: A. V. Atsiasheva, D. I. Bondarenko.

Layout: A. V. Atsiasheva.

Address of editorial office: 4 Kazinca Str., 220099 Minsk, Republic of Belarus.

Phone: +375 (17) 250-12-00.

E-mail: [journal@unibel.by](mailto:journal@unibel.by).

<http://dt.giac.by>

# СОДЕРЖАНИЕ

№ 3 (16), сентябрь, 2021

## ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 5** Внедрение цифровых технологий в организациях Республики Беларусь: состояние и проблемы развития  
**Автор:** Н. Г. Лопатова
- 11** Десять драйверов китайского цифрового чуда  
**Авторы:** Г. Г. Головенчик, Хэ Яньхай
- 26** Цифровая культура как фактор эффективности и снижения рисков цифровой трансформации экономики и общества  
**Автор:** Б. Н. Паньшин

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- 34** Проблемы проектирования комплексной системы защиты информации облачных ресурсов в Республике Беларусь  
**Авторы:** В. П. Кочин, Шанцов А. В.
- 40** Методика виртуализации вычислительных ресурсов масштаба предприятия  
**Авторы:** П. И. Питкевич, Д.Н. Одинец
- 47** Программное обеспечение и возможности современных языков программирования для изучения биоинформатики и вычислительной вакцинологии новой коронавирусной инфекции  
**Авторы:** М. В. Спринджук, А. С. Владыко, Л. П. Титов, А. П. Кончиц
- 58** Моделирование гемодинамических характеристик кровотока сонной артерии на основе компьютерной томографии  
**Авторы:** Д. А. Балиук, Н. С. Давыдова, М. М. Меженная, М. В. Давыдов

# CONTENTS

No 3 (16), september, 2021

## ECONOMIC SCIENCES

- 5** Introduction of Digital Technologies in Organizations of the Republic of Belarus: State and Problems of Development  
**Author:** N. G. Lopatova
- 11** Ten Drivers of the Chinese Digital Miracle  
**Authors:** G.G. Goloventchik, He Yanhai
- 26** Digital Culture as a Factor of Efficiency and Reducing the Risks of Digital Transformation of the Economy and Society  
**Author:** B. N. Panshin

## TECHNICAL SCIENCES

- 34** Problems of Designing Complex Information Security system for Cloud Resources in the Republic of Belarus  
**Authors:** V. P. Kochyn, A. V. Shantsou
- 40** Enterprise-scale Computing Resource Virtualization Methodology  
**Authors:** P. I. Pitkevich, D. N. Adzinets
- 47** Software and Resources of Modern Programming Languages for Bioinformatics and Computational Vaccinology Research of the New Coronavirus Infection  
**Authors:** M. V. Sprindzuk, A.S. Vladyko, L. P. Titov, A. P. Konchits
- 58** Modeling the Hemodynamic Characteristics of the Carrotic Care Blood Based on Computer Tomography  
**Authors:** D. A. Baliuk, N. S. Davydova, M. M. Mezehennaya, M. V. Davydov

## Внедрение цифровых технологий в организациях Республики Беларусь: состояние и проблемы развития

**Н. Г. Лопатова**, заведующий сектором инновационного развития экономики

E-mail: nutmegnt@gmail.com

ГНУ «Институт экономики НАН Беларуси»

ул. Сурганова 1, корп 2, 220072, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье проанализированы результаты анкетного исследования состояния цифрового преобразования в организациях Республики Беларусь. Исследование показало, что большинство опрошенных руководителей считают реализацию цифровых инициатив в настоящее время необходимым условием, чтобы конкурировать и преуспевать. Рассмотрены показатели использования в организациях информационно-коммуникационных технологий, являющихся базовыми для преобразования бизнес-процессов в цифровые. Проведена оценка использования предприятиями информационных систем, автоматизирующих процессы учета, планирования и контроля. Отражена значимость расширенной автоматизации, интегрируемой с ключевыми ИТ-системами (инфраструктура, программное обеспечение, сети) для успешного внедрения цифровых технологий. Результаты опроса показали, что организации в Республике Беларусь все активнее внедряют многие ключевые технологии в области цифровой трансформации. Определены широко используемые технологии, а также, представляющие наибольший интерес для будущего внедрения белорусскими компаниями.

**Ключевые слова:** цифровое преобразование, цифровые технологии, автоматизация, цифровая готовность

**Для цитирования:** Лопатова, Н. Г. Внедрение цифровых технологий в организациях Республики Беларусь: состояние и проблемы развития / Н. Г. Лопатова // Цифровая трансформация. – 2021. – № 3 (16). – С. 5–10.



© Цифровая трансформация, 2021

## Introduction of Digital Technologies in Organizations of the Republic of Belarus: State and Problems of Development

**N. G. Lopatova**, Head of the Section of Innovation-Driven Economic Development

E-mail: nutmegnt@gmail.com

The Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus  
Surganova str. 1, bldg 2, 220072, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The paper analyzes the results of a questionnaire study of the state of digital transformation in organizations of the Republic of Belarus. The study found that the majority of executives surveyed believe that implementing digital initiatives is now a prerequisite to compete and succeed. The indicators of the use of information and communication technologies in organizations, which are basic for the transformation of business processes into digital ones, are considered. The assessment of the use of information systems by enterprises that automate the processes of accounting, planning and control is carried out. The importance of advanced automation integrated with key IT systems (infrastructure, software, networks) for the successful implementation of digital technologies is reflected. The results of the survey showed that organizations in the Republic of Belarus are increasingly implementing many key technologies in the field of digital transformation. The widely used technologies are identified, as well as those of the greatest interest for the future implementation by Belarusian companies.

**Key words:** digital transformation, digital technologies, automation, digital readiness

**For citation:** Lopatova N. G. Introduction of digital technologies in organizations of the Republic of Belarus: state and problems of development. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 3 (16), pp. 5–10 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** Одной из главных задач развития экономики Республики Беларусь является усиление инновационной составляющей роста, переход на интенсивный путь развития, связанный с внедрением новых передовых технологий [1]. Сегодня для многих предприятий движущей силой использования цифровых технологий является возможность получить конкурентные преимущества за счет использования новых технологических инноваций. Отраслевые отличия по продуктам и процессам, структурам и способам внедрения инноваций могут определять различные приоритеты и выбор цифровых технологий при реализации организациями цифровых инициатив.

При этом факторы, которые в наибольшей степени стимулируют инвестиции в передовые технологии в различных сферах деятельности, не являются исключительно отраслевыми. Они связаны с размером организации, динамикой производственных систем предприятий и затрат, объемом и разнообразием продукции, стратегиями выхода на рынок и условиями ведения операционной деятельности, бизнес-целями [2].

Несмотря на актуальность темы, влияние цифровизации на деятельность компаний в определенных секторах экономики недостаточно изучено. Это стало предметом научного исследования, проведенного в 2020 году Институтом экономики НАН Беларуси, которое было направлено на оценку степени автоматизации и заинтересованности белорусских предприятий во внедрении цифровых технологий (инструментов, методов) и цифровизации других направлений деятельности.

В качестве основного инструмента исследования использовались анкетные опросы собственников бизнеса, руководителей высшего звена. Базовым условием при отборе респондентов являлись факторы ИКТ готовности предприятия, т.е. наличие веб-сайта и электронной почты. По данным Белстата [3], число организаций, имевших собственный веб-сайт в 2018 году, составило 5433, что и определило размер генеральной совокупности. С учетом доверительной вероятности, равной 95%, объем выборки, отвечающей требованиям репрезентативности, должен составлять не менее 359 предприятий. С учетом разного уровня ожидаемой возвратности среди различных по размеру предприятий (самый высокий – 60–65% – на крупных предприятиях; самый низкий – не более 20% – на малых и микро предприятиях), была сформирована выборочная совокупность в размере 600 организаций, что составляет 11% от генеральной совокупности.

Для участия в анкетировании были отобраны организации в соответствии со следующими критериями: вид экономической деятельности, численность занятых (крупное, среднее, малое, микро), форма собственности (государственная, частная, смешанная). Ответы получены от 195 компаний (32,5% от общего числа включенных в выборку).

Среди организаций, приславших ответы, крупные составили большинство – 120 (61,5%), наименьшее количество микропредприятия – 8 (4,1%). Примерно равные части составили предприятия смешанной (78) и частной (77) формы собственности, 40% и 39,5% соответственно. Доля компаний со 100% государственным капиталом составила 20,5%. Среди приславших ответы, предприятия обрабатывающей промышленности составили 76,4%.

**Основная часть.** Большинство опрошенных руководителей высшего звена считают, что реализация цифровых инициатив в настоящее время является необходимым условием, чтобы конкурировать и преуспевать: 59% руководителей сообщили, что такая трансформация является приоритетом развития их компании, и лишь 13,3% ответили отрицательно. Вместе с тем 27,7% респондентов не имеют четкой позиции относительно необходимости каких-либо перемен. В то же самое время, большинство организаций (60,5%) считают, что частично подготовлены к осуществлению цифрового преобразования и только менее четверти (23,1%) – подготовлены хорошо.

Цифровая инфраструктура, включающая эффективные, надежные и доступные широкополосные сети и услуги связи, данные, программное обеспечение и аппаратные средства, являются базой для внедрения цифровых технологий. Анализ показателей использования ИКТ в организациях, являющихся базовыми для преобразования бизнес-процессов в цифровые и создания инноваций, говорит о том, что компании показывают хорошую готовность к цифровым изменениям. Возможностью использовать в своей работе локальные вычислительные сети располагали 83,1% организаций. Тенденции развития современной связи предполагают объединение фиксированных и мобильных услуг. Практически все предприятия, более 83,6%, использовали стационарный широкополосный доступ. При этом почти половина (46,7%) имели подключение к беспроводному (мобильному) доступу в сеть Интернет. Около 70% участников опроса используют серверы. При этом ряд предприятий все чаще использу-

ют виртуальную инфраструктуру для большинства своих операций: хранения и управления данными, анализа и обеспечения безопасности. Из числа компаний 14,4% использовали в своей деятельности сервисы облачных вычислений. Например, для доступа к программному обеспечению, предоставляемому провайдером облачных сервисов – 9,7%, как инфраструктуру – 5,1% и платформу – 4,6%.

Сеть интернет организации в большинстве случаев используют для предоставления информации о своей деятельности и о товарах (работах, услугах), взаимодействия с поставщиками и потребителями. Почти 27% компаний, участвовавших в исследовании, осуществляют поиск информации о преимуществах и проблемах цифрового преобразования, о возможностях и барьерах внедрения цифровых технологий.

Внедрение цифровых технологий возможно только в том случае, если оно базируется на эффективно функционирующей системе расширенной автоматизации, интегрируемой с ключевыми ИТ-системами (инфраструктура, ПО, сети) и развитием данных структурных элементов. Например, использование IoT, Big Data тесно связано с системами управления производством (MES) и планирования ресурсов предприятия (ERP). Создание моделей выпускаемых продуктов («цифровой макет», «цифровой двойник»), изделий, кастомизированных под требования потребителя с использованием средств цифрового проектирования и аддитивных технологий возможно при наличии в организации систем автоматизированного проектирования (CAD/CAM/CAE), управления данными об изделии и жизненным циклом продукции (PDM, PLM). Управление клиентским опытом (CXM), чат-боты и голосовые помощники интегрируются с любой системой управления отношениями с клиентами (CRM). Применение технологий IoT, Big Data и машинного обучения для управления глобальными цепочками поставок и распределенными производственными активами также подразумевает использование ряда автоматизированных систем управления предприятием, например, ERP, CRM, SCM (управление цепочками поставок).

Анализ использования информационных систем, автоматизирующих процессы учета, планирования и контроля показывает, что в различной степени они внедрены в 64% организациях. В 22,6% компаний подобные системы не внедрялись. Руководители остальных предприятий указали на использование других систем, например, собственные корпоративные разработки или за-

труднились с ответом.

В первую тройку наиболее актуальных входят: системы CAD/CAM/CAE – (37,9%), ERP – (33,8%), управления персоналом (HRM) (22,1%). Данные системы используются компаниями, как по отдельности, так и в связке с другими (Рис. 1).

Следует отметить, что предприятия чаще используют комбинацию вышеуказанных автоматизированных систем. Большая часть компаний, внедривших системы автоматизации, что составляет 37,6%, использует какую-либо одну из них, совмещение двух – более 23%. Наиболее часто интегрируются системы ERP/CAD или ERP/HRM. Комбинацию из трех систем используют 20% организаций. Показатели по объединению большего количества блоков (от 4 до 7) значительно ниже, в пределах от 3,2% до 8,8%.

Цифровые технологии оказывают значительное влияние на скорость развития бизнеса, создавая дополнительные конкурентные преимущества, обладают огромным экономическим потенциалом и открывают возможности для постоянного улучшения различных процессов и предприятия в целом. Результаты опроса показали, что организации в Республике Беларусь все активнее внедряют многие ключевые технологии в области цифровой трансформации. Респонденты оценивали 5 стадий внедрения технологий в деятельность предприятия исходя из актуальности и возможностей для реализации бизнес преимуществ, степени и масштабам проникновения в деятельность, в том числе: находится в числе приоритетных/активно исследуется; пилотный проект; обновление/совершенствование; использование в отдельных подразделениях/производствах; широкое использование по всему предприятию, в целом (суммарно) определяя общий уровень «востребованности» технологии.

Анализ применения белорусскими предприятиями 22 технологий, инструментов и методов (далее – технологии), которые в соответствии с зарубежными и отечественными исследованиями, международной практикой можно отнести к цифровым (базовым и/или прорывным) показал, что все представленные технологии в той или иной степени представляют интерес для участников опроса, но проходят разные этапы внедрения (Рис. 2). Всего можно отметить пять ключевых технологий, которые в организациях Республики Беларусь наиболее востребованы. Это традиционные веб-технологии, технологии мобильного интернета, социальные медиа, технологии оптического распознавания и цифровизации документооборо-



Рис. 1. Использование организациями информационных систем, автоматизирующих процессы учета, планирования и контроля, %

Примечание. Разработка автора.

Fig. 1. Use of information systems by organizations that automate accounting, planning, and control processes, %

Note. Developed by the author.

та и Интернет вещей. Данные технологии широко используется по всему предприятию или используются в отдельных подразделениях, находятся на этапе обновления или совершенствования.

Оценивая степень заинтересованности во внедрении, и акцентируя внимание на масштабах использования, можно определить три степени «востребованности» цифровых технологий в белорусских организациях (табл. 1). При высокой – характерно использование технологий широко по всему предприятию или в большинстве отдельных подразделений и производств. Многие технологии данной группы находятся на этапе обновления или совершенствования. К средней можно отнести приоритетные и перспективные для внедрения, но менее масштабированные технологии. Использование ряда технологий небольшой долей организаций и преимущественно в отдельных структурах характерно для низкой степени заинтересованности. В основном данные технологии находятся на стадии исследования или внедряются в рамках пилотных проектов.

Рассматривая использование технологий в разрезе размеров организаций можно отметить, что крупные предприятия в той или иной степени исследуют и внедряют все 22 технологии, средние – 20, малые – 19, микро – только 8. Традиционные веб-технологии и технологии мобильного интернета широко используются в большинстве

организаций независимо от категории (размера). Остальные технологии первой группы имеют различные приоритеты. Так, малые и микроорганизации активно используют социальные медиа в своей деятельности. У крупных организаций в приоритете технологии OCR/ICR и робототехника, а в средних – Интернет вещей.

Технологии второй группы больше представляют интерес для крупных и малых организаций, чем для средних. Так, внимание организаций из числа крупных сосредоточено на PIM-системах, средних – управлении опытом клиентов. Облачные технологии лидируют среди организаций из числа малых.

От 4% до 9% респондентов заинтересованы в использовании той или иной технологии третьей группы. Наибольший интерес крупных компаний к технологии цифровой двойник. Лишь небольшая доля (менее 1%) из числа малых и средних организаций рассматривают необходимость внедрения технологий данной группы в свою деятельность.

**Заключение.** Анализ внедрения цифровых технологий в организациях Республики Беларусь позволяет сделать следующие выводы.

Большинство респондентов считают, что цифровое преобразование в настоящее время является необходимым условием, чтобы конкурировать и преуспевать. В тоже время к осуществлению данного процесса хорошо подготовлено примерно каждое четвертое предприятие. Исследуемые



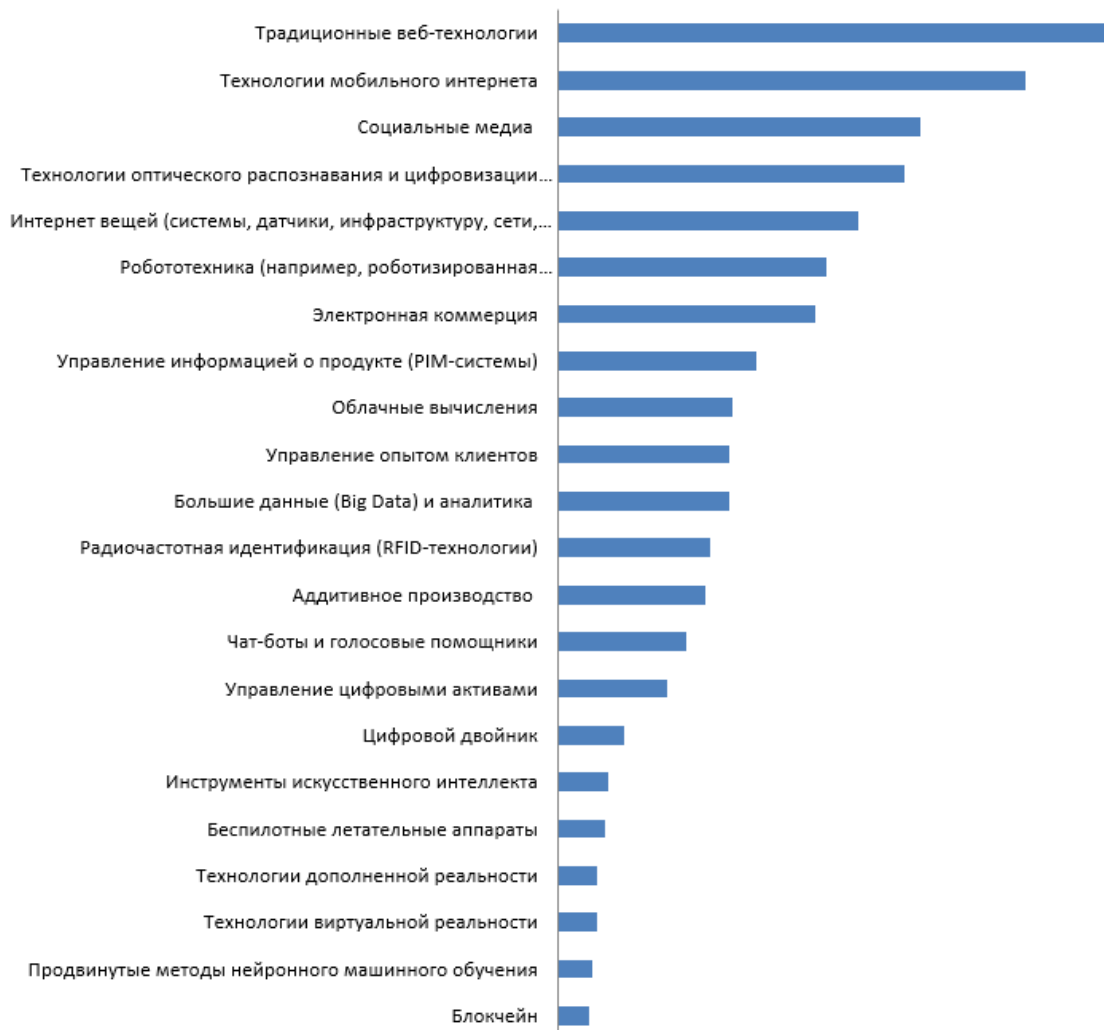


Рис. 2. Внедрение организациями цифровых технологий (степень «востребованности»), %  
Примечание. Разработка автора.

Fig. 2. Adoption of digital technologies by organizations (the degree of "demand"), %  
Note. Developed by the author.

организации находятся на разных стадиях реализации цифровых инициатив, в основном частично осуществляя деятельность по преобразованию в «цифру».

Кроме того, можно отметить достаточно высокий уровень развития информационно-коммуникативной инфраструктуры, обеспечивающей базу для преобразования бизнес-процессов в цифровые и создания инноваций. Вместе с тем недостаточно используется потенциал облачных технологий.

Использование информационных систем, автоматизирующих процессы учета, планирования и контроля показывает, что организации всех видов деятельности применяют различные комбинации автоматизированных систем. Вместе с тем большинство используют лишь одну из трех наиболее востребованных систем (CAD, ERP, HRM) или

их комбинацию. При этом системы CAD и ERP чаще крупными и средними организациями. Для малых и микро наиболее востребованной является система CRM.

Исходя из возможностей для реализации бизнес преимуществ, степени и масштабам проникновения в деятельность технологии, активно используемые и представляющие наибольший интерес для будущего внедрения организациями Республики Беларусь, можно разделить на три группы по степени «востребованности».

Предприятия активно внедряют ключевые технологии в области цифровой трансформации: традиционные веб-технологии, социальные сети, мобильные технологии и приложения, оцифровку документов и автоматизацию рабочих процессов. Преимущественно в отдельных подразделениях (производствах) активно используются такие тех-

Таблица 1 Распределение технологий по степени востребованности  
Table 1 Distribution of technologies by degree of demand

1 группа (высокая степень)	2 группа (средняя степень)	3 группа (низкая степень)
<ul style="list-style-type: none"> <li>- традиционные веб-технологии</li> <li>- технологии мобильного интернета</li> <li>- социальные медиа</li> <li>- технологии оптического распознавания и цифровизации документооборота</li> <li>- интернет вещей</li> <li>- робототехника</li> <li>- электронная коммерция</li> <li>- аддитивное производство</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- управление информацией о продукте</li> <li>- облачные вычисления</li> <li>- большие данные и аналитика</li> <li>- управление опытом клиентов</li> <li>- радиочастотная идентификация</li> <li>- чат-боты и голосовые помощники</li> <li>- управление цифровыми активами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- цифровой двойник</li> <li>- инструменты искусственного интеллекта</li> <li>- беспилотные летательные аппараты</li> <li>- технологии виртуальной реальности</li> <li>- технологии дополненной реальности</li> <li>- продвинутые методы нейронного машинного обучения</li> <li>- блокчейн</li> </ul>

Примечание. Разработка автора.  
Note. Developed by the author.

нологии, как Интернет вещей, робототехника (например, роботизированная автоматизация процессов), электронная коммерция и аддитивное производство. На повестке дня — широкое внедрение облачных технологий, аналитики больших

данных, радиочастотная идентификация. Вместе с тем технологии искусственного интеллекта и машинного обучения, технологии виртуальной и дополненной реальности и блокчейн пока не нашли широкого применения в организациях.

## Список литературы

1. Мировой опыт стимулирования инновационного развития экономики: механизмы, инструменты, перспективы адаптации для Республики Беларусь / Д.В. Муха [и др.] ; под науч. ред. Д.В. Мухи; Ин-т экономики НАН Беларуси. – Минск : Беларуская навука, 2020. – С. 381.
2. Лопатова, Н.Г. Факторы и предпосылки восприятия компаниями цифровых технологий / Н.Г. Лопатова // Стратегия развития экономики Беларуси : вызовы, инструменты реализации и перспективы : сборник научных статей : сб. ст. в 2 т. / Национальная академия наук Беларуси, Институт экономики НАН Беларуси; ред. кол.: В.Л. Гурский [и др.]. – Минск : Право и экономика, 2020. – Т.1 – С. 341-346.
3. Информационное общество в Республике Беларусь, 2019 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by>. – Дата доступа: 24.09.2020.

## References

1. Mukha, D.V. (ed.), Gurskiy V.L. Primshits D.V. et al. (2020) Mirovoy opyt stimulirovaniya innovatsionnogo razvitiya ekonomiki: mekhanizmy, instrumenty, perspektivy adaptatsii dlya Respubliki Belarus [International experience in stimulating innovative economic development: mechanisms, tools, and prospects for adaptation for the Republic of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ. 381 p. (In Russian).
2. Lopatova N.G. Factors and prerequisites for companies' perception of digital technologies. Strategiya razvitiya ehkonomiki Belarusi: vyzovy, instrumenty realizacii i perspektivy: sb. nauch. st. v 2 ch. [Strategy of the Belarusian economy development: challenges, implementation tools and perspectives: a collection of scientific articles in 2 volumes], 2020, v. 1, pp. 341-346 (in Russian).
3. Information Society in the Republic of Belarus. [Statistical compendium of 2019]. Available at: <http://belstat.gov.by> (accessed: 24.09.2020) (in Russian).

Received: 15.10.2020

Поступила: 15.10.2020

## Десять драйверов китайского цифрового чуда

**Г. Г. Головенчик**, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры международных экономических отношений

E-mail: [goloventchik@bsu.by](mailto:goloventchik@bsu.by)

Белорусский государственный университет, факультет международных отношений

ул. Ленинградская, 20, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

**Хэ Яньхай**, аспирант кафедры аналитической экономики и эконометрики

E-mail: [Hai111cn@mail.ru](mailto:Hai111cn@mail.ru)

Белорусский государственный университет, экономический факультет пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Цифровая экономика КНР достигла большого успеха, в результате чего Китай вместе с США стали мировыми лидерами цифровизации. Модель быстрого цифрового развития Китая стала примером и образцом для остального мира. В статье подробно проанализированы десять драйверов китайского цифрового успеха, приведены обширные актуальные статистические данные.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, Китай, драйвер, искусственный интеллект, электронная торговля, цифровизация промышленности.

**Для цитирования:** Головенчик, Г. Г. Десять драйверов китайского цифрового чуда / Г. Г. Головенчик, Хэ Яньхай // Цифровая трансформация. – 2021. – № 3 (16). – С. 11–25.



© Цифровая трансформация, 2021

## Ten Drivers of the Chinese Digital Miracle

**G.G. Goloventchik**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of International Economic Relations

E-mail: [goloventchik@bsu.by](mailto:goloventchik@bsu.by)

Belarusian State University, Faculty of International Relations

Leningradskaya str., 20, 220030, Minsk, Republic of Belarus

**He Yanhai**, postgraduate student at the Department of Analytical Economics and Econometrics

E-mail: [Hai111cn@mail.ru](mailto:Hai111cn@mail.ru)

Belarusian State University, Faculty of Economics

Independence Av., 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The digital economy of the People's Republic of China has achieved great success, as a result of which China, together with the United States, have become world leaders in digitalization. China's rapid digital development model has become an example and a model for the rest of the world. The paper analyzes in detail the ten drivers of Chinese digital success, provides extensive up-to-date statistical data.

**Key words:** digital economy, China, driver, artificial intelligence, electronic commerce, digitalization of industry.

**For citation:** Goloventchik G. G. Ten Drivers of The Chinese Digital Miracle. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 3 (16), pp. 11–25 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** Цифровая экономика захватывает мир и становится основным фактором конкурентоспособности национальных экономик, а цифровая трансформация глобальной экономики становится неизбежной тенденцией [1-3].

Цифровая экономика КНР достигла большого успеха, благодаря чему Китай наряду с США стал мировым лидером цифровизации. Слияние цифровой экономики и традиционных отраслей стало мощной движущей силой экономического подъема Китая.

В очередной «Белой книге» (июнь 2020г.) [4],

посвященной развитию цифровой экономики в Китае, отмечается, что ее добавленная стоимость выросла в 2005-2020 гг. в 15 раз (с 2,6 трлн до 39,2 трлн юаней) и увеличила свою долю в ВВП страны с 14,2% до 38,6% (рис. 1).

По прогнозам, к 2023 г. цифровая экономика будет давать около 51,3% ВВП Китая. В 2020 г. ее проникновение в сфере услуг, промышленного производства и сельского хозяйства составило соответственно 40,7%, 21,0% и 8,9% от добавленной стоимости. Все 11 последних лет ее вклад в экономический рост Китая

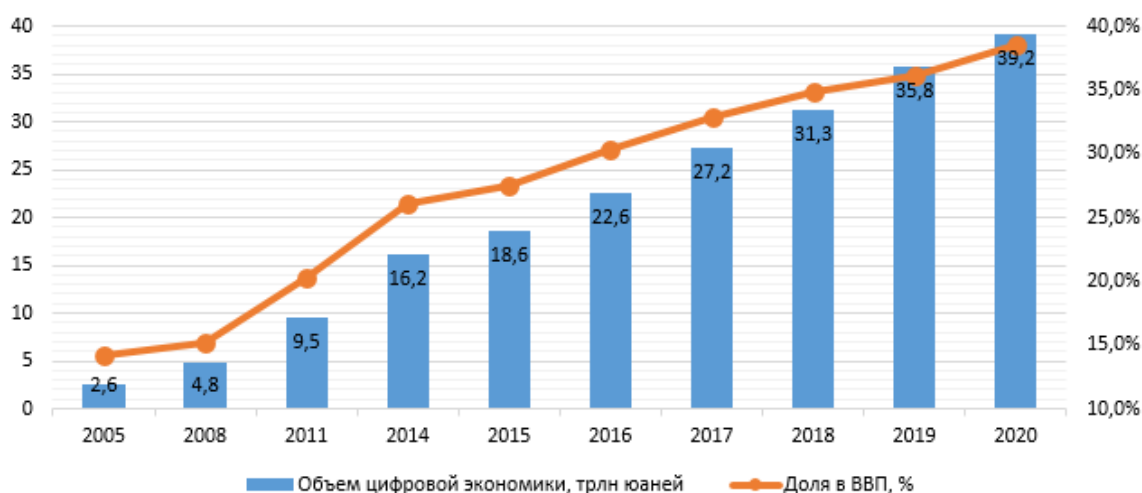


Рисунок 1 – Динамика объема цифровой экономики КНР и ее доля в ВВП

Примечание: в период 2005-2020 г. 1 долл. США равнялся 6-8 юаней.

Figure 1 – Dynamics of PRC's Digital Economy and its share in GDP

Note: In the period 2005-2020, US\$1 was equal to 6-8 yuan.

превышал 50%.

Основу создания цифровой экономики закладывают два процесса: цифровая индустриализация и промышленная цифровизация. Цифровая индустриализация представляет собой возникшие в ходе технической революции сферы экономики, непосредственно связанные с монетизацией нового поколения информационных технологий: сфера связи и теле-коммуникаций, электронно-информационная индустрия, индустрия программного обеспечения, интернет-индустрия. Промышленная цифровизация – это прирост добавленной стоимости, созданной в традиционных отраслях экономики при помощи цифровых технологий, которые не только образуют инновационный сегмент в китайской экономике, но и проникают вглубь всех отраслей, значительно увеличивая их эффективность [5].

Цифровая индустриализация и промышленная цифровизация способствуют устойчивому развитию, повышению конкурентоспособности и инновационности китайской экономики и являются важным двигателем для ускорения модернизации экономической системы и содействия качественному развитию национальной экономики. Модель быстрого цифрового развития Китая стала образцом для всего мира.

**Основная часть.** Проанализируем десять драйверов (термин «драйвер» означает «ускорение» или «определяющий фактор») феноменального роста цифровой экономики Китая.

**Первый драйвер – государственная политика стимулирования и поддержки цифровизации.** Начиная со стратегии «Сделано в Китае 2025», которая основное место уделила развитию цифровых технологий и умному производству, власти приняли с десяток постановлений,

стимулирующих развитие и использование отдельных цифровых технологий. Среди стимулирующих механизмов можно выделить следующие:

- блокировка иностранных конкурентов и их систем;
- освобождение предприятий-разработчиков от части налогов;
- привилегированный доступ отечественных IT-компаний к государственным закупкам;
- доступ к банковским кредитам с низкой процентной ставкой;
- инвестиции государства в частные венчурные фонды;
- организация крупных государственных инфраструктурных цифровых проектов, например, платформ для трансграничной электронной торговли;
- наличие в каждой организации партийных комитетов, которые взяли под контроль внедрение цифровых проектов;
- поощрение активности населения в повышении цифровых навыков и компетенций, использовании онлайн-продуктов, в т.ч. платных.

**Второй драйвер – развитие электронной промышленности (производство электронных компонентов и компьютеров),** которая стала фундаментом цифровизации. По данным Синей книги развития электронной информационной индустрии Китая [6], объем доходов электронной промышленности за 10 лет практически удвоился, отрасль вошла в диапазон стабильного и быстрого роста со средним темпом около 7% (рис. 2).

Экспорт по группам 8471 (Вычислительные машины и их блоки) и 8542 (Схемы электронные интегральные) составил 305 млрд долл. (почти 12% всего экспорта Китая в 2020 г.). В то же время попрежнему высок импорт микросхем (только 16% из них отечественные), который превысил в 2020 г. 350 млрд долл., что даже больше стоимости китайского импорта нефти. Поэтому запрет правительства США на поставки американских микросхем в КНР создавал серьезные проблемы для китайских производителей электроники, таких как ZTE и Huawei. Понимая угрозу нехватки импортных микросхем, Китай прилагает колоссальные усилия для разработки собственных передовых технологий проектирования и производства микросхем нового поколения на базе широкозонных полупроводниковых материалов, таких как карбид кремния (SiC) и нитрид галлия (GaN), позволяющих работать с высокими напряжениями (600-1700 В) и высокими частотами коммутаций [7].

**Третий драйвер – быстрый рост телекоммуникационной отрасли Китая,** которая вышла на первые позиции в мире и стала важной частью цифровой экономики. В 2019 г. общий доход от телекоммуникационного бизнеса достиг 1,3 трлн юаней (рис. 3). Экспорт телекоммуникационных услуг Китая в 2010-2019 гг. вырос в два раза (с 1,2 млрд долл. до 2,4 млрд долл., по данным ВТО); экспорт по группе 8517 (Аппараты телефонные) достиг в 2020 г. 46 млрд долл.

Благодаря быстрому росту телекоммуникационной отрасли количество пользователей интернета постоянно расширяется и согласно

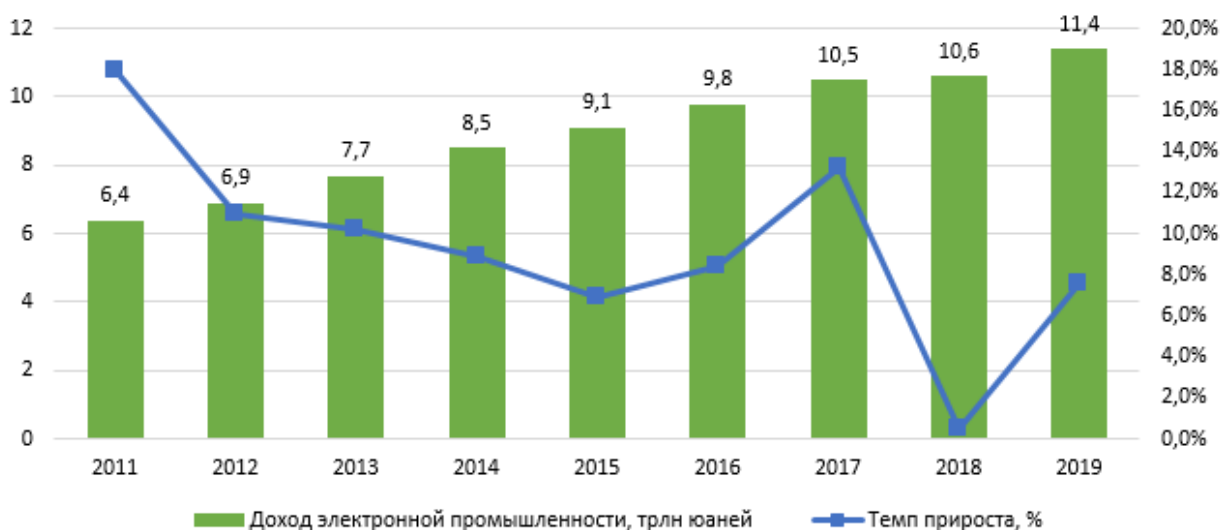


Рисунок 2 – Динамика дохода электронной промышленности КНР  
Figure 2 – Income dynamics of the electronic industry of the People's Republic of China

Докладу о развитии интернета в Китае за 2020 г. достигло 989 млн человек (99,7% из них используют мобильные устройства), проникновение интернета составило 70,4%, при этом количество пользователей с оптоволоконным доступом превысило 420 млн, что составляет 93% от общего числа абонентов широкополосного доступа в интернет [9]. В 2020 г. в Китае было зарегистрировано 1,26 млрд абонентов 4G (всего 1,59 млрд мобильных телефонов), что является крупнейшим в мире числом пользователей сетей

четвертого поколения, коэффициент проникновения 4G (79,9%) намного выше среднемирового показателя. Однако это число уже не растет, т.к. в 2020 г. во всех крупных городах Китая стали предоставлять услуги связи пятого поколения. Согласно статистическим данным, опубликованным весной 2021 г. Министерством промышленности и информатизации КНР, Китай создал крупнейшую в мире сеть 5G: в настоящее время по всей стране введены в строй более 916 тыс. новых базовых станций (это 70% мирового), а количество

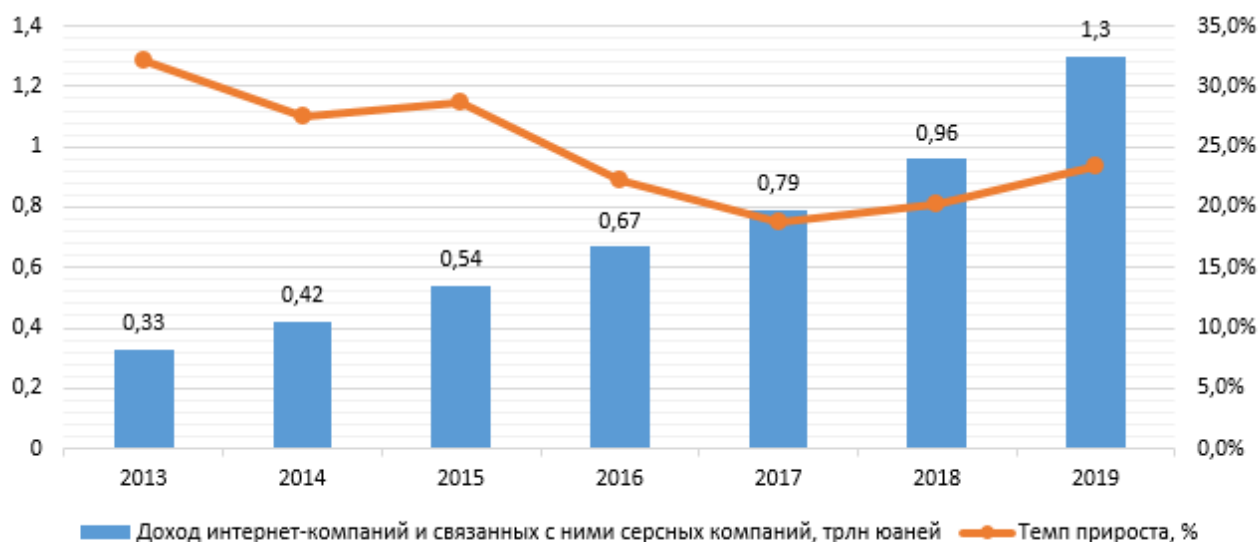


Рисунок 3 – Динамика дохода интернет-компаний КНР и связанных с ним сервисных компаний  
Figure 3 – Income dynamics of PRC Internet companies and related service companies

подключений 5G в Китае превышает 365 млн, что составляет 80% от общего числа в мире [10]. Высокие скорости, обеспечиваемые сетями пятого поколения и быстрым Wi-Fi, позволяют успешно реализовать концепции «умный город», «умное производство» и «умный автомобиль». В 2021 г. Китай продолжит расширять строительство сетей нового поколения, продвигать совместное строительство и использование инфраструктуры 5G, а также работать над технологией связи следующего поколения.

**Четвертый драйвер – устойчивый рост производства собственного программного обеспечения (ПО).** В сегменте производства ПО в 2019 г. в Китае работало более 40 тыс. предприятий, давших общий доход в 7,2 трлн юаней (рост на 15,4% в сравнении с прошлым годом) (рис. 4).

Экспорт компьютерных услуг Китая, по данным ВТО, в 2010-2019 гг. вырос с 9,3 до 51,4 млрд долл. с совокупным среднегодовым темпом роста 20%.

Темп роста количества предприятий в сфере разработки ПО хотя и снизился, но составляет в последние годы высокие 14-16%.

**Пятый драйвер – быстрое развитие цифровых технологий нового поколения,** что сформировало цифровую инфраструктуру и привнесло динамику в экономическое развитие. Цифровые технологии последнего поколения вызвали трансформацию традиционных отраслей экономики и породили новые бизнес-модели, что повысило конкурентоспособность китайских предприятий на международной арене. В КНР работает треть мировых цифровых стартапов (компаний-единорогов) с капитализацией более 1 млрд долл. Мобильный офисный инструмент Alibaba Ding Talk, экстренно созданный весной 2020 г. во время пандемии COVID-19 для удаленной работы, используют сотрудники более 10 млн организаций.

В IT-индустрии четыре крупнейшие компании показали в 2019 г. доход в 1,2 трлн юаней (+21,4%). За последние годы произошло принци

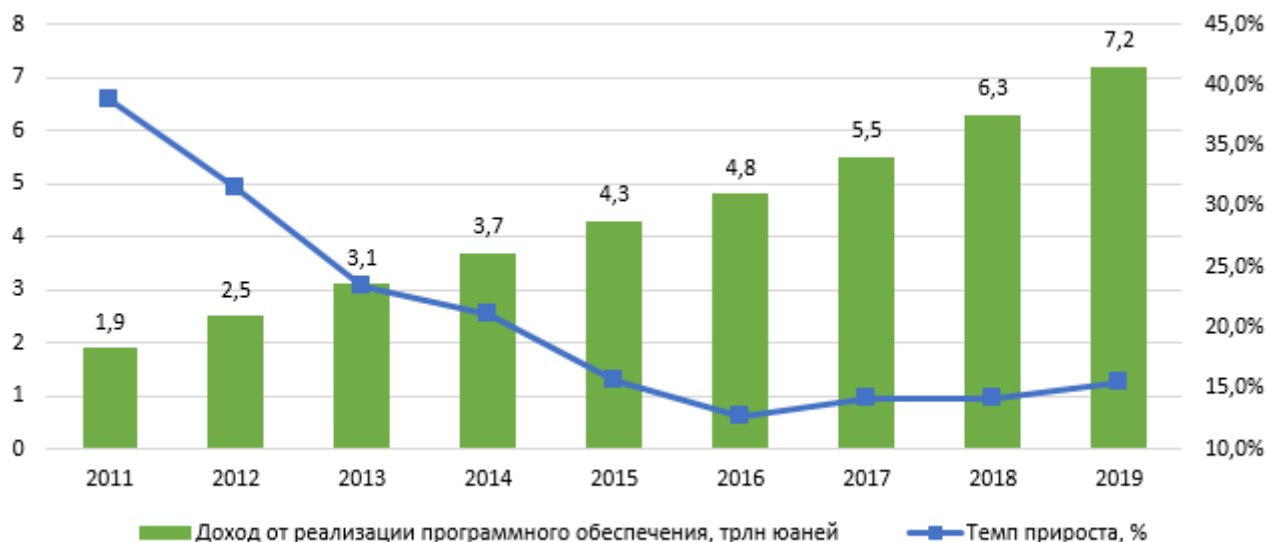


Рисунок 4 – Динамика доходов от реализации программного обеспечения в КНР  
 Figure 4 – Income dynamics from software sales in the PRC

пиальное изменение: от догоняющей имитации (Sina – Yahoo, Baidu – Google), китайские IT-компании перешли к созданию собственных экосистем. Безусловными лидерами в этом процессе являются Baidu, Alibaba и Tencent (BAT). Более того, китайские компании пытаются выйти на международный рынок (Douyin – Tiktok), однако общая направленность на свой внутренний рынок является главным препятствием для международной экспансии.

Согласно аналитическому отчету Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС), в 2019 г. китайские IT-компании и ведущие университеты впервые в истории смогли опередить США по количеству поданных международных патентных заявок (58 990 против 57 840) [11]. Это тем более впечатляет, если вспомнить, что США последние 40 лет (до 2018 г. включительно) удерживали первое место в этом списке ВОИС.

Все организации страны активно используют облачные вычисления, искусственный интеллект (ИИ), большие данные, интернет вещей, спутниковый интернет и другие передовые цифровые технологии.

1) Применение облачных вычислений (Cloud computing) достигло массового характера. Особенно быстро (в среднем на 18% в год) растет производство программных продуктов для облачных вычислений; годовая выручка от реализации таких программ в 2019 г. составила 4,3 трлн юаней. Область облачных услуг, включая

онлайн-сервисы по поддержке ПО, услуги по эксплуатации облачных сетевых платформ и услуги по эксплуатации инфраструктуры, стремительно растет. Согласно статистике Министерства промышленности и информатизации, годовой темп прироста облачных вычислений в Китае в 2015-2020 гг. достиг 30%. Появился ряд крупных поставщиков облачных услуг, таких как Alibaba, Tencent, China Telecom и Inspur. Alibaba Cloud в 2020 г. стала третьей по доходам в мире после Amazon Web Services и Microsoft Azure.

2) Аналитика больших данных (Big Date Analytics) вступила в фазу быстрого роста, что стало эффективным средством развития современной сферы услуг. Применение больших данных является ключевым фактором роста цифровой экономики, способствует массовому использованию инноваций и модернизации традиционных отраслей промышленности и бизнеса, обретению новых конкурентных преимуществ во внешнеэкономической деятельности. Принятие Плана действий по ускорению и внедрению больших данных в КНР стимулировало рост рынка коллективных данных. Ожидается, что темпы роста рынка больших данных в Китае сохранятся на уровне более 30%, и к 2022 г. его объем достигнет 1,4 трлн юаней (рис. 5). Для этого в гористой и холодной провинции Гуйчжоу на площади 30 кв. км строится подземный всекитайский дата-центр.

3) Индустрия искусственного интеллекта (ИИ) Китая открыла новую эру цифровой экономики. Как революционная технология, ИИ бы

стро превосходит людей во всё большем числе областей, вызывая стремительные изменения в сферах автоматического перевода и анализа текстов на естественном языке, распознавания речи и зрительных образов, машинного обучения, бизнес-аналитики, интеллектуальных систем информационной безопасности, робототехники и т.п. В 2017 г. Китай обнародовал План развития искусственного интеллекта нового поколения, в котором предполагается, что к 2030 г. масштабы основных отраслей ИИ в Китае превысят 1 трлн юаней, стратегическая цель – 10 трлн юаней [12], при этом Китай опирается на ведущие IT-предприятия (мы уже упоминали трио BAT) для создания систем ИИ в области контроля поведения граждан (система социального доверия), военных техно-

логий, автовождения (Baidu), городского управления (умный город Alibaba), медицинской визуализации, распознавания речи и других областях. В Китае около 600 организаций, развивающих технологии ИИ, что составляет 23% от общего числа в мире, а совокупный объем инвестиций, связанных с ИИ, достиг 63,5 млрд долл., что составляет 33,2% от общего объема глобальных инвестиций в этот технологический сектор [13].

Как по количеству компаний, занимающихся ИИ, так и по общему объему инвестиций (государственных и частных) Китай занимает второе место в мире, незначительно уступая только США. Однако по числу патентов в области ИИ КНР значительно (в 7,2 раза) опережает США: по данным итогового отчёта ежегодной конференции китай-

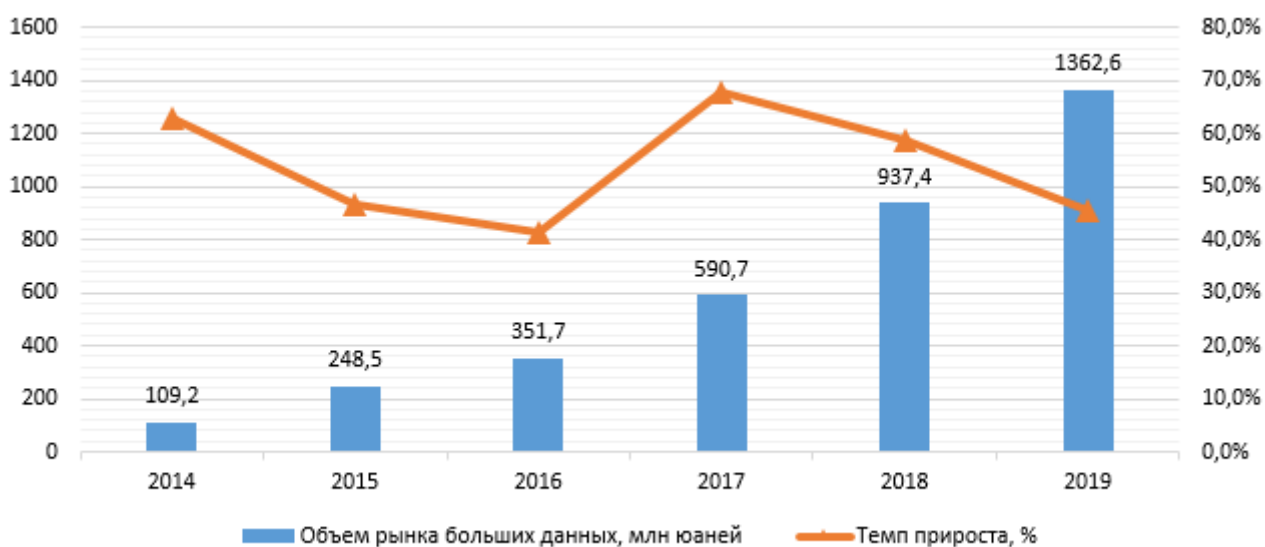


Рисунок 5 – Динамика объема рынка больших данных в КНР  
Figure 5 – Dynamics of Big Data Market Volume in the PRC

ской индустрии ИИ (2020 China Artificial Intelligence Industry Annual Convention) в 2011-2020 гг. во всём мире было подано более 521 тыс. патентных заявок в области технологий ИИ, из них на долю китайских частных и государственных организаций пришлось около 389 тыс. заявок (74,7%), на втором месте – США. Среди китайских частных компаний лидерами в этой сфере стали Alibaba, Baidu, OPPO, Ping An Technology, State Grid и Tencent. Научно-исследовательскими организациями с наибольшим числом заявок являются Китайский университет электронных наук и технологий в Чэнду, Чжэцзянский университет, Бэйханский университет, Южно-Китайский технологический университет и Университет Цинхуа. Китайские гиганты

Baidu, Tencent и Alibaba по портфелю патентов в сфере облачных технологий и ИИ превосходят Facebook, Apple, Microsoft, Google и Amazon. Только Tencent (с самым большим портфолио) имеет в три раза больше патентов, чем Facebook, в два раза больше, чем Amazon, и только на 5% меньше, чем Apple.

4) Беспилотные технологии Китая не отстают от разработок мировых лидеров в данной отрасли и обладают огромным потенциалом. Китайские инженеры начали разработку беспилотных транспортных средств еще в 1980-х гг., и в 1992 г. представили первый по-настоящему беспилотный автомобиль. С развитием новых высоких технологий, таких как облачные вычисления, ИИ,



связь 5G и автоматическое управление, исследования в сфере беспилотных технологий ускорились. Китайское правительство обнародовало ряд стимулирующих политических мер – программу «Сделано в Китае 2025», проекты «Интернет + в трех-летней программе действий в области ИИ», План развития нового поколения ИИ, Дорожную карту беспилотных технологий (2016 г.), что ускорило продажи беспилотных автомобилей.

В настоящее время Китай прилагает значительные усилия для того чтобы стать лидером в разработке, тестировании и внедрении технологий беспилотного вождения, а также производства инновационного программного обеспечения с интегрированной возможностью управления автомобилем без участия человека. В феврале 2020 г. 11 центральных китайских правительственных ведомств опубликовали совместную Стратегию инноваций и развития интеллектуальных транспортных средств, которая является обновлением проекта, выпущенного в январе 2018 г. Согласно этому плану, интеллектуальные транспортные средства будут использоваться вместе с автономными транспортными средствами на взаимозаменяемой основе. Руководство КНР предполагает добиться полной автоматизации транспортных средств к концу 14-й пятилетки (2025 г.).

Уже сегодня многие китайские производители создают автомобили, способные передвигаться по дорогам общего пользования автономно. Лидерами в этом направлении являются корпорации Chongqing Changan Automobile, Dongfeng Motor, FAW Group и Hongqi, которые одними из первых мировых производителей беспилотных автомобилей начали работы в этом направлении. Так, в начале 2020 г. Chongqing Changan выпустил серийный кроссовер Uni-T с установленной на нем автономной системой вождения 3-го уровня. Компания Baidu совместно с King Long еще в 2018 г. начала серийное производство автономных электрических микроавтобусов Arolong, оснащенных автопилотом 4-го уровня.

Руководство компании Chongqing Changan Automobile (единственного китайского производителя беспилотных автомобилей, получившего лицензии на испытания в США) заявило, что в ближайшие 10 лет намерено инвестировать 20 млрд юаней (2,98 млрд долл.) в исследования и разработки, а к 2025 г. начать массовое производство автомобилей со степенью автоматизации 4-го уровня. Ведущие китайские автопроизводители Dongfeng Motor, FAW Group и Hongqi к 2025

г намерены запустить в эксплуатацию соответственно 13, 17 и 14 новых моделей электромобилей. В 2022 г. примерно по 100 тыс. автомобилей у каждого из указанных производителей будут оснащены системами беспилотного вождения 4-го уровня; в 2025 г. автомобилей такого класса будет уже по 300 тыс.; в 2035 г. по 500 тыс. автомобилей оснастят системами 5-го уровня. Компания Baidu (первая в Китае по продвижению технологий ИИ), которая начала исследования систем беспилотного вождения еще в 2013 г., в январе 2019 г. на автомобильной выставке CES 2019 в Лас-Вегасе (США) представила свою новую платформу Apollo Enterprise, которая является набором настраиваемых решений для автономного вождения и системы синхронизации автомобилей с ИИ [14].

Кроме того, в настоящее время КНР является одним из мировых лидеров в области строительства беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Разработаны и предлагаются заказчикам сотни моделей и модификаций такой техники гражданского и военного назначения. Согласно официальной статистике, в Китае зарегистрировано более 523 тыс. БПЛА, длительность полетов, которых в 2020 г. составила около 1,6 млн часов, увеличившись на 27,5%. С 01.01.2021 г. вступил в силу первый в Китае национальный стандарт экспресс-доставки товаров с помощью БПЛА. Китайские власти в ближайшее время собираются на законодательной основе стимулировать развитие этой отрасли. В 2021 г. Управление гражданской авиации КНР планирует ускорить внедрение новых стандартов и правил, которые облегчат работу торговых площадок и снизят нагрузку на дорожный транспорт, а также будет содействовать расширению сети логистических пунктов, занимающихся транспортировкой посылок по воздуху. Пока программа по развитию этого сегмента авиации общего назначения реализуется в экспериментальном режиме.

5) Планомерно развивается спутниковый интернет. Китай всё более агрессивно продвигается к созданию собственной низкоорбитальной группировки спутников, предназначенной не только для предоставления широкополосного интернета в сельских или малонаселённых районах: эту сеть можно использовать для навигации беспилотного транспорта, дистанционного зондирования Земли, расширения возможностей 5G и т.п. Более того, космос – один из приоритетов инициативы «Один пояс и один путь».

Стартом новой космической программы является Document 60 (его официальное название

«Основные заключения Государственного совета по инновациям в инвестиционных и финансовых механизмах в ключевых областях и поощрению социальных инвестиций»), разработанный в 2014 г. В 2020 г. спутниковый интернет был включён в Новую инициативу Китая в области инфраструктурной политики, а весной 2021 г. Правительство Китая создало компанию China Satellite Network Group, которая будет формировать глобальную систему спутникового интернета. Но заниматься этой задачей будут и другие китайские компании. Например, Китайская государственная аэрокосмическая научно-промышленная корпорация (CASIC) заявила о завершении к 2025 г. реализации проекта Xingyun – запуска группы из 80-ти низкоорбитальных спутников для поддержки узкополосного интернета вещей, а также 320-ти спутников связи Hongyan. Компания China Telecom Satellite Communications планирует запустить в ближайшие пятьдесят лет 10 000 спутников под названием China StarNet. Компания SpaceX запускает на орбиту спутники наблюдения – на данный момент 20 из них уже работают. Компания GW (Guo Wang) проинформировала Международный союз электросвязи (МСЭ) о планах создания двух широкополосных систем спутникового интернета под названием GW-A59 и GW-2, которые будут включать в себя 12 992 спутника.

Ведущая китайская компания в сфере спутникового интернета – Beijing Commsat Technology Development в 2018 г. успешно запустила спутники Junior Star One и семь Ladybug Series, завершив системные испытания спутникового интернета вещей, а в начале 2021 г. получила от Китайского инвестиционного фонда по развитию интернета стратегические вложения в размере 4,5 млрд долл. (и рассчитывает еще на 10 млрд долл.). Компания уже завершила в Таншане строительство первой очереди завода по производству низкоорбитальных спутников, и вскоре, как ожидается, запустит быстрое, недорогое и гибкое массовое производство (100 спутников в год) класса 50-700 кг.

Другие китайские компании – Zhuhai Orbita, GalaxySpace, MinoSpace, LaserFleet, Head Aerospace – также разрабатывают собственные проекты по формированию орбитальных групп спутников для обеспечения широкополосной связи, сетей 5G, интернета вещей и других услуг передачи данных. Общее количество спутников, которое Китай собирается запустить на орбиту, составит 30-40 тыс. единиц. Примерно столько же спутников планирует отправить и США.

31.07.2020 г. была официально введена в

эксплуатацию глобальная спутниковая навигационная система BeiDou (кит. «Большая медведица») из 55-ти космических аппаратов, которая предлагает пользователям по всему миру семь типов услуг: определение местоположения, услуги координатно-временного и навигационного обеспечения, глобальная и региональная услуги передачи коротких сообщений, международная служба сопровождения поисково-спасательных операций, система функционального дополнения космического базирования, система функционального дополнения наземного базирования и услуга высокоточной навигации в реальном времени. Стоимость проекта, который финансировался китайскими властями, оценена в 10 млрд долл.

По оценкам китайских предпринимателей, инвестиции в размере 100 млрд юаней (15,4 млрд долл.) в спутниковую инфраструктуру (спутники и наземные объекты) генерируют доход операторов спутниковых сетей в 200 млрд юаней, а объём рынка наземных терминалов и промышленных услуг, основанных на спутниковом интернете, оценивается ими в 700 млрд юаней [15].

**Шестой драйвер – быстрая цифровая модернизация платежных систем**, которая позволила мобильным платежным сервисам стать в Китае доминирующими. Мобильные платежные сервисы Alipay, WeChat Pay, Unionpay и др. как более удобные и эффективные давно уже стали в Китае основным способом оплаты повседневных покупок товаров и оплаты услуг (аренды велосипеда, заказа еды на дом, вызова такси). Alipay – самая крупная платежная система, входящая в состав Alibaba Group, была изначально создана в 2003 г. для проведения транзакций на маркетплейсе Taobao. Сейчас это одна из главных платежных систем в Китае для приема платежей как онлайн, так и офлайн. Чаще всего платеж совершается через QR-код, либо покупатель сканирует код счета продавца через мобильное приложение Alipay, либо продавец сканирует QR-код, появляющийся на телефоне покупателя. К тому же многие услуги можно оплачивать непосредственно через приложение. Несмотря на то, что WeChat Pay намного моложе своего главного конкурента, он не менее популярен: в 2019 г. количество пользователей в Китае достигло 1,1 млрд чел. Технически WeChat Pay работает так же, как и Alipay – посредством сканирования QR-кода. Крайне удобно, что этот онлайн-кошелек интегрирован в социальную сеть WeChat: это дает возможность, не покидая главный мессенджер Китая, перевести деньги, опла-

тить любые услуги, совершить покупки. UnionPay – национальная платёжная система Китая, созданная в 2002 г. Госсоветом и Народным банком Китая, больше похожа на привычный нам способ оплаты: применяется банковская карта для совершения транзакций. Однако, чтобы не отставать от конкурентов, UnionPay недавно анонсировал новую функцию оплаты через сканирование QR-кода и внедрил возможность оплачивать покупки одним касанием с помощью сервиса QuickPass (аналог Apple Pay и Google Pay), которым уже можно пользоваться в 35 странах за пределами Китая.

Alipay, WeChat Pay и Unionpay значительно расширили применение электронных платежей, упростили и удешевили (сбор продавца всего 0,55% от платежа) процесс оплаты, реализовали быстрый перевод небольших средств, что стимулировало развитие электронной торговли. По данным Народного банка Китая, небанковские

платежные институты в 2019 г. обработали мобильных платежей только на треть меньше, чем банки, а количество пользователей мобильных платежей достигло 790 млн. человек (рис. 6).

Широкое распространение получила оплата с помощью идентификации по распознаванию лица: в 2020 г. ею воспользовались 118 млн чел. Китай одним из первых стран мира запустил в опытную эксплуатацию (в провинции Шэньчжэнь) цифровой юань (цифровую валюту центрального банка, CBDC) с теми же правилами регулирования, что и наличные юани.

**Седьмой драйвер – развитие сверхвысокими темпами электронной торговли,** включая трансграничную, что сделало Китай мировым лидером в этой области. Согласно последнему отчету Министерства торговли, объем сделок электронной торговли в Китае в 2011-2019 гг. быстро рос во всех сегментах (B2C, B2B, B2G) и достиг

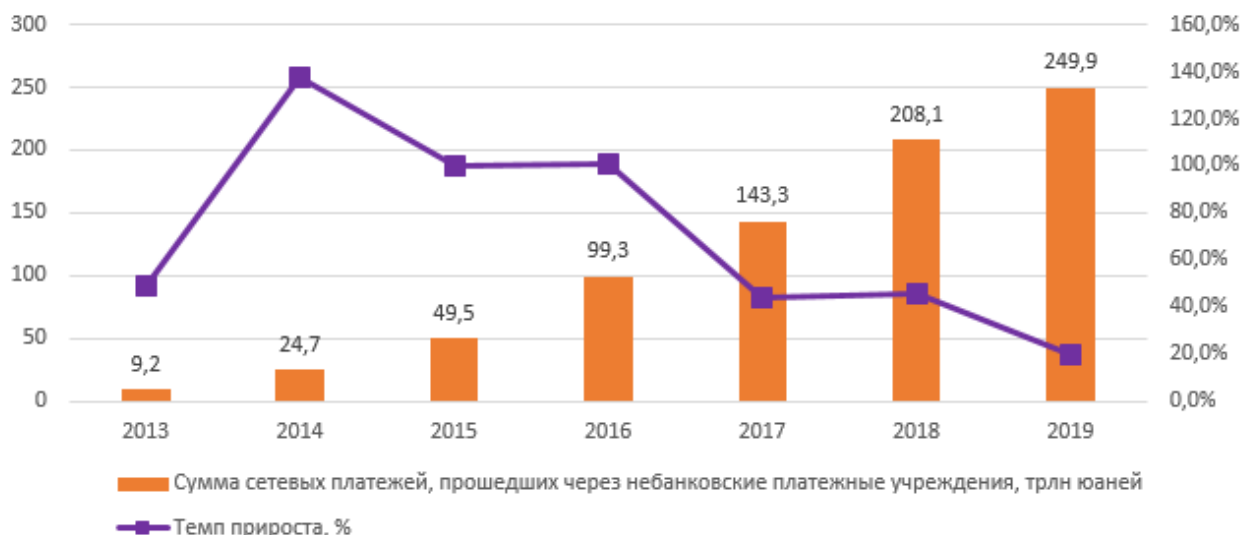


Рисунок 6 – Динамика объема мобильных платежей через небанковские учреждения КНР  
Figure 6 – Dynamics of mobile payment volume via non-banking institutions in the PRC

34,81 трлн юаней (4,93 трлн долл.), что на 6,7% больше, чем годом ранее (рис. 7). Розничные продажи в интернете составили в 2019 г. 10,63 трлн юаней (1,7 трлн долл.), что на 16,5% больше, чем в предыдущем году. Statista ожидает, что годовой темп роста выручки (CAGR 2021-2025) на китайском рынке электронной торговли составит 6,65%, что приведет к прогнозируемому объему рынка в 13,49 трлн юаней к 2025 г. [16].

Электронная торговля стала самым активным элементом в китайской цифровой экономике. По итогам 2020 г. Китай – крупнейший в мире внутренний розничный рынок электронной торговли объемом 1,82 трлн долл. (по оценке

Министерства торговли КНР) и мировой лидер в трансграничной электронной торговле (в т.ч. благодаря 105-ти комплексным зонам такой торговли и продвигаемому проекту «Цифровой Шелковый путь»).

В 2019 г. 292 млн китайских онлайн-потребителей приобрели товары из-за рубежа, а объем их покупок превысил 157 млрд долл. (рис. 8).

Statista оценила объем продаж на рынке розничной электронной торговли Китая по итогам 2019 г. в 862,6 млрд долл., в 2020 г. он вырос до 1116,0 млрд долл., а в 2024 г. достигнет 1556,2 млрд долл. [17].

Число граждан КНР, совершающих покупки в интернете, в последнее время заметно выросло.

В 2018 г. доля потребителей, совершивших хотя бы одну онлайн-покупку за предыдущие 12 месяцев, выросла в Китае до 92% интернет-пользователей. В конце первой половины 2020 г. 782,4млн чел. (рис. 9), или 44,8% населения КНР [18], совершали покупки онлайн (в США – всего 15%); по прогнозу eMarketer, в 2021 г. в Китае на электронную торговлю будет приходиться 52,1% розничных продаж. (Следующей по доле e-commerce является Южная Корея, где в этом году 28,9% продаж будут происходить через интернет. В США показатель составит всего 15,0%, а в среднем по странам Западной Европы – 12,8%).

Электронная и физическая торговля в Китае

начинают сближаться, поскольку местные гиганты e-commerce создают огромные физические торговые точки для демонстрации своих онлайн-продуктов и обеспечения возможности мгновенных покупок (такая практика получила название «Новая розничная торговля»). Ожидается, что к 2025г. число пользователей на рынке электронной торговли КНР составит 1223,9 млн чел.

По оценкам Statista ecommerceDB – базы данных, профилирующей более 20 000 интернет-магазинов по всему миру, китайские Taobao и Tmall, принадлежащие и управляемые интернет-гигантом Alibaba Group Holding Ltd., были в 2019 г. крупнейшими в мире онлайн-рынками в размере 490 млрд

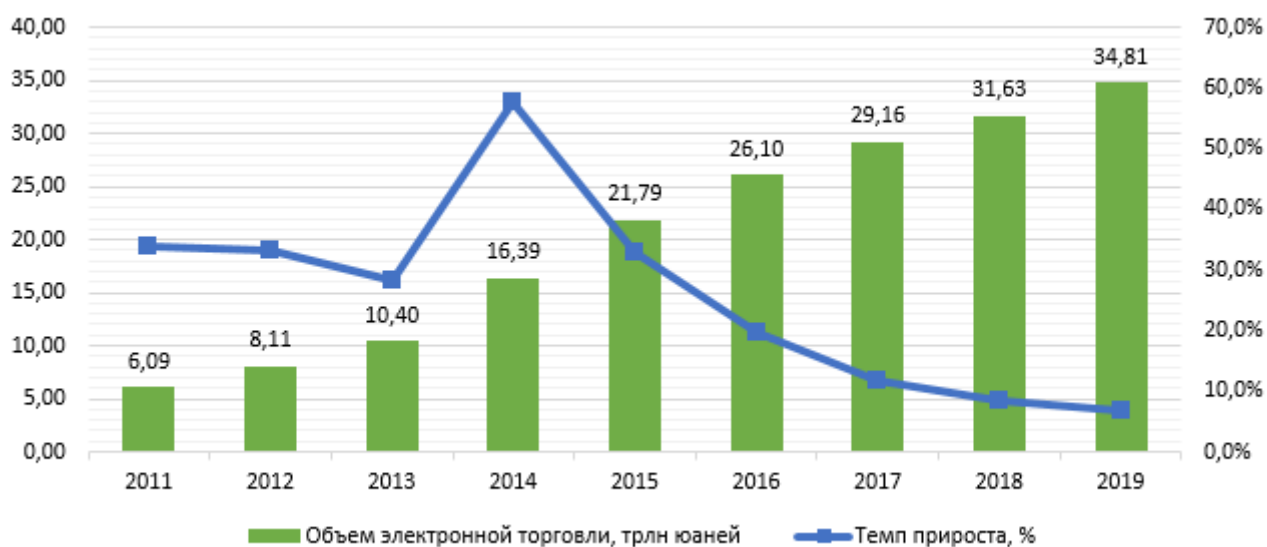


Рисунок 7 – Динамика общего объема электронной торговли в Китае  
Figure 7 – Dynamics of the total volume of e-commerce in China

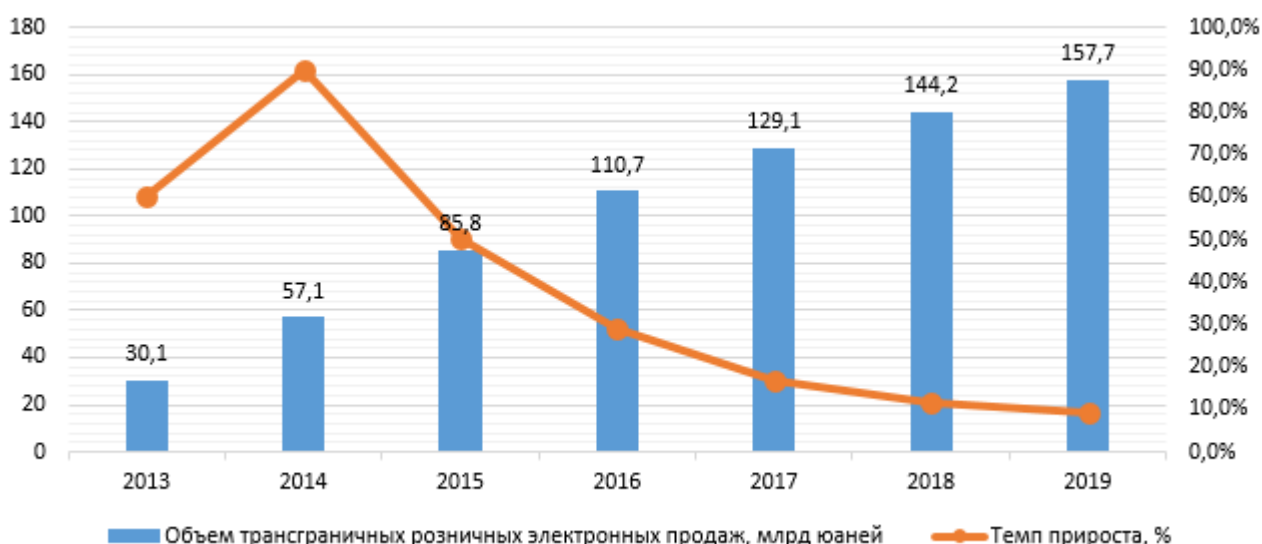


Рисунок 8 – Динамика объема трансграничных розничных электронных продаж в Китае  
Figure 8 – Dynamics of cross-border retail electronic sales in China

долл. и 464 млрд долл. соответственно. Еще одна китайская платформа – JD.com, занимала четвертое место с объемом 302 млрд долл [19].

Выручка Alibaba Group по итогам финансового года, закончившегося 31.03.2021 г., выросла на 41% до 717,3 млрд юаней (109,5 млрд долл.) [20]. Без учета консолидации недавно приобретенного Sun Art, китайской сети гипермаркетов, продажи прибавили 32%. Годовая выручка в ключевом операционном сегменте Core commerce (розничные площадки Taobao, Tmall и Aliexpress, оптовые 1688 и Alibaba, логистические и потребительские услуги; доля сегмента – 87%) выросла на 42%. В следующем финансовом году руководство компании планирует увеличить выручку на 30% – до 930,0 млрд юаней (144,0 млрд долл.) [20]. На Alibaba приходится 80% оборота электронной торговли в стране. Годовая аудитория пользовате-

лей розничных сервисов Alibaba в Китае увеличилась на 85 млн чел. – до 811 млн пользователей.

Эффективные мобильные платежи, фул-филмент, прямые продажи от производителя, социальная e-commerce, в области которой Китай является мировым лидером, не только сделали торговлю более простой, но и культивировали новые привычки потребления и привели к быстрому экономическому и социальному развитию. Важное значение имели усилия правительства Китая по вовлечению сельского населения в электронную торговлю (розничные интернет-продажи в сельской местности в 2019 г. достигли 1,7 трлн юаней, увеличившись на 19,1% по сравнению с годом ранее; объем продаж сельскохозяйственной продукции через интернет достиг 397,5 млрд юаней, увеличившись за год на 27%). Вступивший в силу с 2019 г. новый закон КНР об электронной

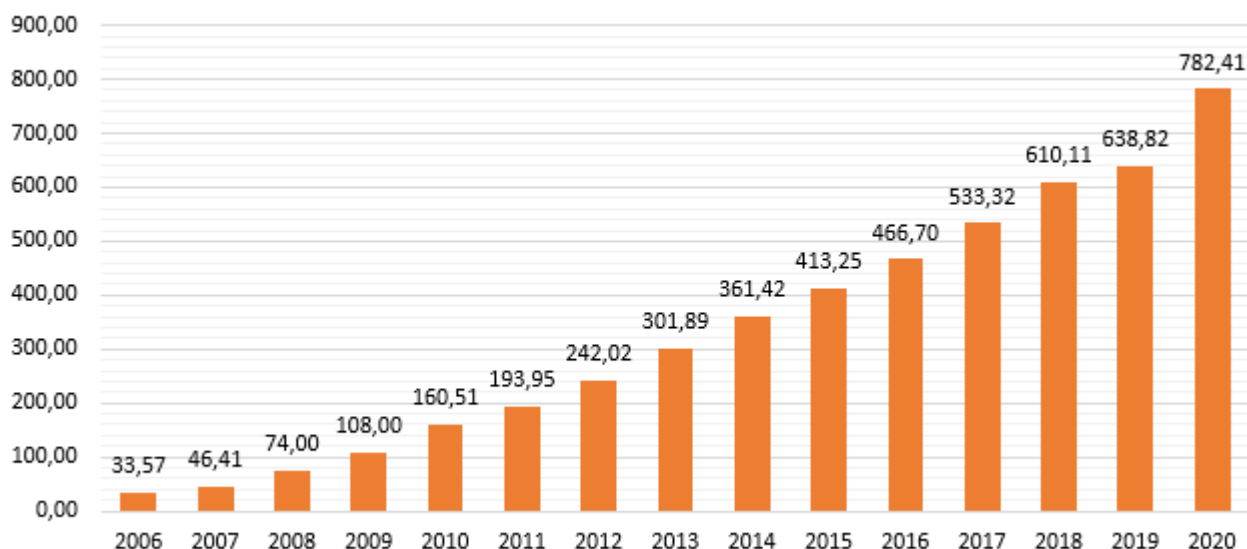


Рисунок 9 – Динамика количества онлайн-покупателей в Китае, млн чел.

Figure 9 – Dynamics of the number of online buyers in China, million people

торговле так же, как и пандемия COVID-19, стимулировал в 2020 г. бурное развитие онлайн-продаж.

В ближайшем будущем рост продаж, вероятно, будет усилен ростом электронной торговли за пределами больших и малых городов. Исторически проникновение интернета в сельской местности отставало от городских районов, но быстрое распространение смартфонов и развертывание мобильных полос частот 5G должно изменить это. Рост ВВП в китайских сельских районах происходит быстрее, чем в городах, что говорит о том, что эти новые потенциальные клиенты будут иметь растущий располагаемый доход, чтобы тратить

его онлайн. Однако отсутствие налаженных схем доставки и логистической инфраструктуры в малонаселенных сельских районах уже скоро может представлять собой проблему, поскольку онлайн-заказы из этих районов активно растут.

**Восьмой драйвер – быстрое создание систем цифровой логистики.** По данным ВТО, экспорт транспортных услуг Китая за последние 10 лет вырос с 34,2 млн долл. до 57,6 млн долл. в 2020 г., чему способствовала быстрая цифровизации китайской логистики и создание современных цифровых систем для электронной торговли. Справочно: затраты на логистику в электронной торговле составляют от 20 до 30% стоимости то-

вара, особенно дороги услуги операторов экспресс-доставки в международной торговле.

В 2020 г. Министерство промышленности и информационных технологий КНР выступило с инициативой организации партнерства платформ электронной торговли и логистических компаний для создания интеллектуальных систем логистики. Благодаря цифровизации китайских логистических операторов China Post EMS, SF Express, а также созданию собственных цифровых систем Tmail Global Cainiao, FBPIJ, Vip, Kaola произошло ускорение и удешевление доставки крупнейших маркетплейсов электронной торговли (за 2019 г. в Китае обработано 63,5 млрд посылок электронной торговли). Значительных успехов добились JD.com, Alibaba, Meituan Dianping по доставке товаров с помощью дронов и роботов.

**Девятый драйвер – быстрая цифровизация промышленности на базе глубокой интеграции интернета и промышленности.** В 2017 г. Государственный совет Китая издал Руководящие принципы по развитию промышленного интернета в целях интеграции «Интернет + передовое производство», что содействовало цифровизации промышленности или, как говорят в Китае, развитию промышленного интернета. Ряд китайских спецификаций промышленного интернета официально прошел процедуры проверки в Международной организации по стандартизации для подготовки международного стандарта интеграции интернета и промышленности. В результате это привело к:

– ускорению устойчивого роста и повышению эффективности промышленности. Согласно данным Национального статистического бюро Китая, в 2020 г. добавленная стоимость промышленности достигла 31,3 трлн юаней, что на 2,8% больше, чем годом ранее, при этом добавленная стоимость высокотехнологичного производства выросла на 7,1% по сравнению с предыдущим годом; инвестиции в высокотехнологичное производство выросли на 11,5%, а инвестиции в высокотехнологичные услуги – на 9,1%. В 2020 г. китайские промышленные предприятия принесли прибыль в размере 6451,6 млрд юаней, что на 4,1% больше, чем годом ранее;

– быстрому росту новых отраслей. Стремительно развиваются такие новые отрасли, как производство интегральных схем, транспортных средств на новой энергии и промышленных роботов. В 2020 г. объем продаж интегральных схем в Китае составил 1760,1 млрд юаней и вырос на 10,9%; объем производства автомобилей, работа-

ющих на новых источниках энергии, составил 1,5 млн единиц и вырос на 17,3%; производство промышленных роботов составило 237,1 тыс. единиц, что является самым высоким показателем в мире в течение трех лет подряд; производство гражданских беспилотных летательных аппаратов достигло 60 млрд юаней, рост – более, чем на 40%. По прогнозу к 2025 г. объем производства гражданских беспилотных летательных аппаратов достигнет 180 млрд юаней со среднегодовым ростом более 25%;

– организации умных производств. Китайские предприятия быстро и эффективно создавали умные производства, их доля к 2020 г. превысила 10%. Цифровой контроль оборудования этих предприятий высок, достигнута интеграция между управленческой информацией и автоматизацией, а также между закупками, производством, продажами, запасами, финансами и т.д. Китай ускоренно продвигается к умным фабрикам.

– углублению международного цифрового промышленного сотрудничества. В обрабатывающей промышленности создается за год примерно 5 тыс. новых предприятий с иностранными инвестициями, стоимость экспорта промышленной продукции увеличивается ежегодно в среднем на 10%. Международное сотрудничество в области цифровой экономики, промышленного интернета, 5G, интеллектуальных сетей и др. укрепляется в первую очередь с США, ЕС, Японией, другими странами и регионами. Китай выступил с инициативой учреждения ассоциации цифровой экономики с участием компаний из 50-ти стран мира (D50) для создания «цифрового сообщества единой судьбы». Достигнут ряд консенсусов по сотрудничеству в цифровизации промышленной сферы со странами БРИКС.

**Десятый драйвер – цифровая экономика Китая породила новые бизнес-модели взаимодействия промышленности и сектора услуг для населения.** Конвергенция промышленности и интернета позволила проводить сетевые совместные НИОКР и проектирование, организовать сервис-ориентированное производство, осуществлять индивидуальную настройку производства на спрос, создать сетевые платформы и умные производства. Рассмотрим эти направления подробнее:

1) Сетевые совместные исследования и разработки позволили на основе распределенной совместной проектной среды в интернете выполнять цифровое краудсорсинговое проектирование с использованием общедоступного облака. С 2014 г. доля предприятий, реализующих со-

вместные сетевые НИОКР, увеличилась с четверти до трети от общего их количества.

2) Сервис-ориентированное производство является новой производственной моделью, которая оптимизирует организационную форму производства, режим управления операциями и модели бизнеса, увеличивая долю сервисных элементов, что способствует интеграции производства и услуг и созданию добавленной стоимости не только в производственной цепочке, но и в сервисах. В период с 2014 г. доля предприятий, которые проводят сервис-ориентированное производство, удвоилась – с примерно 12% до 25%.

3) Персонализация продукции – от продуктов питания до автомобилей – это новая модель производства, ориентированная на потребителя. Социальные сети дали обычным людям возможность напрямую общаться с брендами и выражать свое видение того, какие продукты с точки зрения дизайна и потребительских свойств они хотели бы покупать. Индивидуальные заказы становятся важным направлением трансформации и модернизации работы предприятий и их инновационного развития. Предприятия используют интернет для сбора и удовлетворения индивидуальных потребностей пользователей на умной производственной системе, управляемой автоматическим потоком данных, на основе инновационных бизнес-моделей, ориентированных на персонализированные продукты.

4) Ведение бизнеса на сетевых платформах с помощью промышленных облаков – еще одна новая модель сетевых производственных услуг, которая объединила передовые производственные и информационные технологии нового поколения, обеспечивая эффективные контакты потребителей и производственных ресурсов с помощью виртуализации сервисов. Например, платформа «Двойное создание» фирм Tencent на базе 100 000 облачных сервисов является двигателем конвергенции производства и интернета и используется на 70,45% промышленных предприятий.

5) Массовые подключения к цифровым технологиям малого бизнеса. Согласно 44-му Статистическому докладу о развитии интернета в Китае, по состоянию на 2020 г. в КНР было зарегистрировано 342 млн пользователей услуг онлайн-образования, 251 млн – сетевых медицинских услуг, 421 млн чел. пользовались онлайн-доставкой и 337 млн – заказывали автомобили с помощью мобильных приложений. Приведенные данные свидетельствуют о том, что цифровая экономика

Китая развивается быстрыми темпами с подключением малого бизнеса, т.к. именно малый бизнес, как правило, и оказывает перечисленные услуги.

Новые модели бизнес-обслуживания населения перевели значительную часть экономической деятельности в интернет. Новые цифровые технологии позволили Китаю стремительно развивать цифровой маркетинг, цифровое образование и телемедицину, цифровые государственные услуги и дистанционную работу. Китай – один из мировых лидеров по использованию цифровых технологий для отслеживания и контроля как здорового населения, так и заболевших, что было особенно важно во время неожиданной вспышки пандемии коронавируса зимой-весной 2020г.; услуги телемедицины достигли полноценной коммерциализации; самое главное – быстро растет «цифровое» потребление населением виртуальных товаров.

Социальные медиа в Китае стали мощнейшим инструментом маркетинга и «раскрутки» брендов с помощью live-стримов, или прямых трансляций сначала в продвижении контента, а затем – в электронной торговле недвижимостью и автомобилями (TaobaoLive), путешествиями и люксовыми товарами (Red Book). Экономика совместного потребления возникла не в Китае, но бурное развитие – от аренды автомобилей и велосипедов до зонтов и сетевых адаптеров – получила именно в КНР.

**Заключение.** Успешной реализации и созданию синергетического эффекта от перечисленных десяти драйверов способствовал в первую очередь политический фактор – ориентация государства на строительство экономики знаний и высокоэффективная экономическая политика инновационного развития и поддержки всех сфер цифровой экономики, благодаря которой Китай от бренда «Сделано в Китае» переходит к бренду «Придумано в Китае». Разумеется, этому способствовали высокие расходы государства на образование и исследования, стимулирование частного сектора к участию в инновационном рынке. Следует также учитывать способствующий массовому вовлечению населения в цифровизацию быстрый рост цифровых компетенций подавляющего числа китайцев под влиянием быстрого роста цифрового предложения услуг и виртуальных товаров экосистемой BAT, включающей три китайских транснациональных мегакорпорации Baidu, Alibaba и Tencent. (например, только на платформе Alibaba работает 11 млн фирм малого бизнеса).

## Список литературы

1. Ковалев М.М. Цифровая экономика - шанс для Беларуси / М.М. Ковалев, Г.Г. Головенчик. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2018. – 327 с.
2. Головенчик, Г.Г. Цифровая экономика / Г.Г. Головенчик, М.М. Ковалев. – Минск: Изд. БГУ, 2019. – 395 с.
3. Головенчик, Г.Г. Цифровая трансформация промышленности Китая: опыт для ЕАЭС / Г.Г. Головенчик, Ван Юань. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2019. – 166 с.
4. Белая книга о развитии цифровой экономики Китая. – Пекин: Китайская Академия информационных и коммуникационных технологий, 2020. – 19 с. (на кит. яз.)
5. Цифровая экономика – на пути к новому этапу от количественного изменения к качественному изменению. – Пекин: Издательство электронной промышленности, 2017. – 142 с. (на кит. яз.)
6. Синяя книга развития электронной информационной индустрии Китая. – Пекин: Китайская академия развития электронной информационной индустрии, 2019. – 94 с. (на кит. яз.)
7. Белая книга по стандартизации электронных технологий КНР. – Пекин: Издательство электронной промышленности, 2018. – 210 с. (на кит. яз.)
8. Доклад о развитии Интернета Китая за 2020 г. / Китайский институт кибер-пространства. – Пекин: Издательство электронной индустрии, 2020. – С. 17-61. (на кит. яз.)
9. SCMP Research. China Internet Report 2020 (July 2020). – South China Morning Post Publishers Ltd., 2020. – 53 p.
10. Ван, Ч. Высокий стандарт: Китай создал крупнейшую в мире сеть 5G / Чжэн Ван // Российская газета – Федеральный выпуск. – 2021. – № 47(8398) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2021/03/05/kitaj-sozdal-krupnejshiu-v-mire-set-5g.html>. – Дата доступа: 13.07.2021.
11. ВОИС: ИС в фактах и цифрах. 2020 год // ВОИС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/ru/wipo\\_pub\\_943\\_2020.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/ru/wipo_pub_943_2020.pdf). – Дата доступа: 15.07.2021.
12. Искусственный интеллект: национальная стратегическая инициатива. – Пекин: Китайская академия информации и телекоммуникаций, Tencent, 2017. – 130 с. (на кит. яз.)
13. Белая книга развития искусственного интеллекта. – Пекин: Академия общественных наук КНР, 2019. – 117 с. (на кит. яз.)
14. Schaub, M. China Releases Big Plan for Autonomous Vehicles / M. Schaub // King & Wood Mallesons [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.chinalawinsight.com/2020/03/articles/corporate-ma/china-releases-big-plan-for-autonomous-vehicles/#page=1>. – Date of access: 17.07.2021.
15. China Aims To Build Its Version Of Elon Musk's SpaceX Starlink Faster Than Others // China Money Network [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.chinamoneynetwork.com/2021/03/11/china-aims-to-build-its-version-of-elon-musks-spacex-starlink-faster-than-others>. – Date of access: 18.07.2021.
16. Digital Markets. eCommerce. China // Statista [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.statista.com/outlook/dmo/ecommerce/china?currency=CNY>. – Date of access: 19.07.2021.
17. Buchholz, K. Where E-Commerce is Growing Fastest / K. Buchholz // Statista [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.statista.com/chart/22729/e-commerce-sales-growth-by-region/>. – Date of access: 19.07.2021.
18. Camir, K. E-Commerce Market In China. A Comprehensive Guide – 2021 / K. Camir, G. Cakmak, O. Solen, K. Demirel // Motaword [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.motaword.com/blog/ecommerce-market-in-china>. – Date of access: 19.07.2021.
19. Top 5 biggest online marketplaces in the world // ecommerceDB [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ecommercedb.com/en/blogPost/3031/top-5-biggest-online-marketplaces-in-the-world>. – Date of access: 20.07.2021.
20. Alibaba Group Holdings Ltd ADR (BABA) // Investing [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ru.investing.com/equities/alibaba-income-statement>. – Date of access: 20.07.2021.

## References

1. Kovalev, M.M. Digital Economy – a Chance for Belarus / M.M. Kovalev, G.G. Golovenchik. – Minsk: Publishing house of the BSU Center, 2018. – 327 p.
2. Golovenchik, G.G. Digital Economy / G.G. Golovenchik, M.M. Kovalev. – Minsk: BSU Publishing House, 2019 – 395 p.
3. Golovenchik, G.G. Digital transformation of China's industry: experience for the EAEU / G.G. Golovenchik, Wang Yuan. – Minsk: Publishing house of the BSU Center, 2019. – 166 p.
4. White Book on the development of the digital economy of China. – Beijing: Chinese Academy of Information and Communication Technologies, 2020. – 19 p. (in Chinese)
5. The digital economy is on the way to a new stage from quantitative change to qualitative change. – Beijing: Electronic Industry Publishing House, 2017. – 142 p. (in Chinese)
6. The Blue Book of the development of the electronic information industry in China. – Beijing: Chinese Academy of Electronic Information Industry Development, 2019. – 94 p. (in Chinese)
7. White Paper on Standardization of Electronic Technologies of the People's Republic of China. – Beijing: Electronic Industry Publishing House, 2018. – 210 p. (in Chinese)



8. Report on the development of the Internet in China for 2020 / Chinese Institute of Cyber Space. – Beijing: Electronic Industry Publishing House, 2020. – pp. 17-61. (in Chinese)
9. SCMP Research. China Internet Report 2020 (July 2020). – South China Morning Post Publishers Ltd., 2020. – 53 p.
10. Wang, Ch. High standard: China has created the world's largest 5G network in / Zheng Wang // Rossiyskaya Gazeta-Federal Issue. – 2021. – № 47(8398) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://rg.ru/2021/03/05/kitaj-sozdal-krupnejshuiu-v-mire-set-5g.html>. – Date of access: 13.07.2021.
11. WIPO: IP in facts and figures. 2020 // WIPO [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/ru/wipo\\_pub\\_943\\_2020.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/ru/wipo_pub_943_2020.pdf). – Date of access: 15.07.2021.
12. Artificial intelligence: a national strategic initiative. – Beijing: Chinese Academy of Information and Telecommunications, Tencent, 2017. – 130 p. (in Chinese)
13. White Paper on the development of artificial intelligence. – Beijing: Academy of Social Sciences of the People's Republic of China, 2019. – 117 p. (in Chinese)
14. Schaub, M. China Releases Big Plan for Autonomous Vehicles / M. Schaub // King & Wood Mallesons [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.chinalawinsight.com/2020/03/articles/corporate-ma/china-releases-big-plan-for-autonomous-vehicles/#page=1>. – Date of access: 17.07.2021.
15. China Aims To Build Its Version Of Elon Musk's SpaceX Starlink Faster Than Others // China Money Network [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.chinamoneynetwork.com/2021/03/11/china-aims-to-build-its-version-of-elon-musks-spacex-starlink-faster-than-others>. – Date of access: 18.07.2021.
16. Digital Markets. eCommerce. China // Statista [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.statista.com/outlook/dmo/ecommerce/china?currency=CNY>. – Date of access: 19.07.2021.
17. Buchholz, K. Where E-Commerce is Growing Fastest / K. Buchholz // Statista [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.statista.com/chart/22729/e-commerce-sales-growth-by-region/>. – Date of access: 19.07.2021.
18. Camir, K. E-Commerce Market In China. A Comprehensive Guide – 2021 / K. Camir, G. Cakmak, O. Solen, K. Demirel // Motaword [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.motaword.com/blog/ecommerce-market-in-china>. – Date of access: 19.07.2021.
19. Top 5 biggest online marketplaces in the world // ecommerceDB [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ecommercedb.com/en/blogPost/3031/top-5-biggest-online-marketplaces-in-the-world>. – Date of access: 20.07.2021.
20. Alibaba Group Holdings Ltd ADR (BABA) // Investing [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ru.investing.com/equities/alibaba-income-statement>. – Date of access: 20.07.2021.

*Received: 28.07.2021*

*Поступила: 28.07.2021*

## Цифровая культура как фактор эффективности и снижения рисков цифровой трансформации экономики и общества

**Б. Н. Паншин**, д. т. н., профессор кафедры цифровой экономики экономического факультета БГУ

E-mail: panshin@tut.by

ORCID ID:0000-0001-9162-0667

Белорусский государственный университет,  
пр-т Независимости, д. 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассматриваются подходы к оценке роли цифровой культуры в снижении рисков и повышении эффективности цифровой трансформации экономики и общества в условиях ее постоянного ускорения. Приведен перечень и дана характеристика рисков цифровой трансформации на мега-, макро-, микро-уровнях и уровне индивида. Обсуждаются вопросы развития понятий цифровой культуры и цифровой трансформации и приводятся трактовки этих понятий с учетом значимости социокультурных факторов в контексте достижения синергетических эффектов цифровой трансформации. Обосновывается необходимость формирования инженерии цифровой трансформации и инженерии цифровой культуры как новых направлений исследований в сфере цифровизации.

**Ключевые слова:** риски цифровой трансформации, цифровая культура, цифровая трансформация, механизм и мероприятия по формированию цифровой культуры, инжиниринг цифровой культуры.

**Для цитирования:** Паншин, Б. Н. Цифровая культура как фактор эффективности и снижения рисков цифровой трансформации экономики и общества / Б. Н. Паншин // Цифровая трансформация. – 2021. – № 3 (16). – С. 26–33.



© Цифровая трансформация, 2021

## Digital Culture as a Factor of Efficiency and Reducing the Risks of Digital Transformation of the Economy and Society

**B. N. Panshin**, Ph.D., Professor at the Department of Digital Economy Faculty of Economics, BSU

E-mail: panshin@tut.by

ORCID ID:0000-0001-9162-0667

Belarusian State University,  
Independence avenue, 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Approaches to assessing the role of digital culture in reducing risks and increasing the efficiency of digital transformation of the economy and society in the context of its constant acceleration are considered. The list and characteristics of the risks of digital transformation at the mega-, macro-, micro-levels and the level of the individual are given. The issues of the development of the concepts of digital culture and digital transformation are discussed and interpretations of these concepts are given, taking into account the importance of socio-cultural factors in the context of achieving synergistic effects of digital transformation. The necessity of the formation of digital transformation engineering and the engineering of digital culture as new areas of research in the field of digitalization is substantiated.

**Key words:** risks of digital transformation, digital culture, digital transformation, mechanism and measures for the formation of digital culture, engineering of digital culture.

**For citation:** Panshin B. N. Digital culture as a factor of efficiency and reducing the risks of digital transformation of the economy and society. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 3 (16), pp. 26–33 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** В настоящий период обсуждение проблем цифровизации и цифровой трансформации экономики и общества сосредоточены в основном на готовности страны, отрасли и предприятий к применению цифровых технологий. Широко обсуждаются проблемы трансформации бизнеса в сфере услуг и изменений бизнес-моделей в интернет-зависимых компаниях, то есть в потребительском сегменте цифровой экономики. Однако недостаточно исследуются риски цифровой трансформации и феномен цифровой культуры, в аспекте ее влияния, на повышение эффективности модернизации промышленных предприятий.

В части рисков цифровой трансформации рассматриваются, в основном, проблемы информационной безопасности и кибернетических рисков (видимая часть «айсберга проблем цифровой трансформации»), оставляя без должного внимания информационные, организационные, социокультурные риски, а также риски, связанные с закупкой, доработкой, внедрением и сопровождением программно-технических комплексов. Именно вследствие недооценки этих групп рисков более 70% усилий по цифровой трансформации, по данным McKinsey, терпят неудачу [1]. Это примерно 1,4 триллиона долларов, которые могут быть потрачены напрасно на текущий момент времени. При этом, успех цифровой трансформации даже крупных международных компаний составляет пока еще менее 10%, и, как отмечают эксперты, ключевой фактор неудач – это недостаточный уровень цифровой культуры модернизируемых предприятий, а также отсутствие практических методик по технологии и инжинирингу цифровой трансформации и формированию цифровой культуры. Пока еще большая часть предприятий осуществляет цифровую трансформацию методом «проб и ошибок», то есть тестирования различных технологий, что сопровождается временными, финансовыми и материальными потерями.

Для многих предприятий цифровая трансформация лежит в основе сохранения конкурентных преимуществ и развития бизнеса. Первая волна цифровой трансформации была связана с интернет-зависимыми компаниями, которая привела к появлению интернет-гигантов в торговле, логистике, банковской, страховой и других видах деятельности, где внедрение новых технологий не требовало кардинальной перестройки производственных процессов. В настоящее время наступила «вторая волна» – гибридная стадия цифровой трансформации традиционных предприятий, которые трансформируются, чтобы стать более ориентированными на цифровые технологии. Дополнительно, к созданным ранее информационным

системам, внедряются киберфизические системы на основе Интернета вещей и реализуются положения концепции Индустрии 4.0. Одновременно возрастает ценность человеческого капитала и ключевым элементом эффективности преобразований становится цифровая культура.

Многочисленными исследованиями определено, что экономическая эффективность модернизации является следствием культурной предрасположенности людей и коллектива предприятия к активной трансформации бизнес-процессов, так как, в ходе любой реорганизации и трансформации, главное состоит в том, чтобы создать условия для максимального задействования умений и энтузиазма сотрудников (энергии человеческой культуры [2]) в ходе преобразований.

Важно также отметить, что более 80% проблем модернизации закладываются на этапе концептуального проектирования внедрения технологических и организационных инноваций и формирования комплекса взаимосвязанных мероприятий по реализации проекта, что можно определить, как культуру и технологию цифровой трансформации. Поэтому, закупкам техники и внедрению новых технологий должен предшествовать этап подготовки кадров и организационных схем управления, формирования и развития на предприятии новой цифровой культуры, которую следует рассматривать как ключевой фактор снижения рисков и повышения эффективности цифровой трансформации.

**Цифровая трансформация в социокультурном аспекте.** Изменения – это константа. Трансформация общества и экономики никогда не прекращается, и происходит по причине появления новых технологий и их массового применения в производстве, быту и общественной деятельности. Цифровая трансформация является следствием цифровизации, а само понятие, по сути, представляет зонтичный термин для обозначения изменений, происходящих в самых различных сферах деятельности вследствие масштабного и разнообразного применения цифровых технологий. Тем не менее, несмотря на то, что четкого определения цифровой трансформации, как и цифровой экономики, в экспертной среде пока еще не выработано, появление этих терминов оказалось весьма полезным. Так как сработал эффект нейминга. Аналогично тому, как было с концепцией «черной дыры» – появился новый мем, и это придало новый и сильный импульс разработке теории мироздания.

В словосочетании «цифровая трансформация» ключевым словом является слово «трансформация»,

которое, согласно Кембриджскому словарю, означает полное изменение внешнего вида или характера чего-либо или кого-либо, особенно когда система, вещь или человек изменяется к лучшему. Очевидно, что применительно к предприятию, лучшее – это в смысле: качественнее, дешевле, экологичнее. Но в основе этих изменений – человеческие ценности и поведение, которые затем транслируются на производство, быт и общественную жизнь в целом. То есть успех трансформации является в большей мере результатом управляющего воздействия, которое идет «изнутри» системы (от культурной предрасположенности), а не извне. Это обуславливает актуальность рассмотрения цифровой трансформации в социокультурном аспекте, а саму цифровую культуру рассматривать как фактор предотвращения рисков цифровой трансформации, вызванных человеческой преднамеренной или непреднамеренной деятельностью. Исходя из этого, требуется уточнение и развитие понятия цифровой трансформации.

Можно предположить, что главной стержневой концепцией цифровой трансформации является тезис объединения людей, технологий, процессов и разных видов научно-технических ресурсов в сложные производственные и социальные структуры, легко настраиваемые на решение конкретных задач посредством многообразных и гибких информационных и цифровых технологий, что должно позволить достигать синергетического эффекта трансформации.

В целом, цифровая трансформация выражается в нескольких планах:

– в социальном – в формировании новой социальной среды путем развития новых способов коммуникаций и взаимодействий людей (социальные сети - Интернет людей);

– в экономическом (производство, управление, финансы) – цифровая трансформация реализуется в виде цифровой экономики – появлении новых видов деятельности, продуктов и услуг (создание новой стоимости), новых моделей бизнеса, модернизации традиционных отраслей на основе использования цифровых технологий, прежде всего, технологии Интернета вещей [3];

– в культурном – в формировании цифровой культуры в ходе адаптации людей и коллективов к новым технологиям. В том числе, и путем масштабной и качественной подготовки, накопления, систематизации, аналитической обработки и использования первичных данных, что существенно сокращает издержки на ведение бизнеса и повышает степень доверия между людьми, коллективами и в обществе в целом.

Учитывая важность культуры и социальной среды в модернизации предприятий, понятие цифровой трансформации в самом общем виде можно определить, как позитивные изменения, происходящие в экономике и обществе, вследствие внедрения (встраивания) в системы, организационного управления и производственные процессы принципиально новых цифровых технологий и инструментов, объединяемых в целостные технологические системы (платформы) и способствующие достижению синергетического эффекта от использования имеющихся ресурсов, росту производительности и снижению издержек, и развивающиеся в соответствии с социальной средой, в которой осуществляется модернизация.

Цифровизация, как и трансформация предприятий – процесс объективный и непрерывный и вначале осуществлялась путем внедрения специализированных пакетов прикладных программ, затем появились универсальные системы управления предприятиями (CRM, ERP, CALS и т.д.). На втором этапе стала популярной веб-аналитика, внедрение которой сопровождалось изменениями во многих сферах, ориентированных на потребителя, что приводило к совершенствованию бизнес-моделей и схем управления, хотя это и не называлось цифровой трансформацией. То есть, цифровая трансформация, как и прежде автоматизация, а затем и информатизация, осуществляется путем адаптации производства к новым технологиям с целью снижения производственных и управленческих издержек и с ориентиром на то, как можно эффективнее соединить производимые предприятием товары и услуги с рынками потребителей.

Массовое применение особо значимых технологий в производстве и в быту приводит к промышленным и социальным революциям. Происходящая в настоящее время четвертая промышленная революция является прямым следствием «революции информационных технологий» и характеризуется массовым использованием мобильных устройств, искусственного интеллекта и средств автоматического обучения, а также более высоким уровнем интеграции и сложности новых технологий, способствуя трансформации общества и мировой экономики. В отличие от традиционных базовых технологий (пара, электричества, конвейера) цифровые технологии отличаются колоссальным многообразием, скоростью изменений и масштабами применения, что обуславливает высокие риски цифровой трансформации, инструментом снижения которых в значительной степени является производственная и корпоративная культура (применительно к цифровизации – цифровая культура).

**Риски цифровой трансформации.** Трансформация – процесс сложный, длительный и затратный и сопряжен с множеством различных проблем и рисков (кибернетических, информационных, организационных, технологических, инвестиционных, кадровых и т.д.). В книге Д. Мошелла «Путеводитель по информационному будущему» [4] дана следующая классификация рисков, связанных с цифровой трансформацией предприятий сферы высокотехнологических услуг:

- киберриски, возникающие в результате преднамеренной атаки со стороны физического лица, организации, страны или иного субъекта;

- цифровые риски, связанные со сбоями, ошибками, злоупотреблениями и другими проблемами, непреднамеренно вызванными клиентами, поставщиками, технологиями или работниками;

- информационные риски, обусловленные зависимостью от сложных информационных систем (информационная перегрузка, необъективность людей, взаимозависимость систем и т.д.).

Однако для промышленных предприятий важен учет финансовых, организационных и производственных рисков цифровой трансформации [5-6]. Следует также отметить, что чем «физичнее» и масштабнее предприятие реального сектора, тем большими рисками сопровождается модернизация. Так, оценить реальный эффект от внедрения крупных информационных систем, как показывает практика, можно только через 2-5 лет после начала их внедрения, а на соответствующие изменения бизнес-процессов и подготовку персонала (формирование цифровой культуры) требуются

затраты в 5-10 раз большие, чем на технику и программное обеспечение. В самом общем виде риски представлены в таблице.

**Актуальность цифровой культуры.** В основе предлагаемого подхода оценки роли культуры в цифровой трансформации лежит понимание цифровой культуры как составной части традиционной культуры, которая в свою очередь, рассматривается как механизм адаптации человека и сообществ к новым цифровым технологиям, с целью достижения синергетических эффектов взаимодействия и создания лучших условий для самосборки и саморганизации индивидов и сообществ в ходе организации жизнедеятельности сообщества и для повышения эффективности производства востребованных товаров и услуг [7].

Цифровая культура способствует снижению энтропии в среде взаимодействия, путем упорядочивания подходов, методов и инструментов межличностных и корпоративных взаимодействий. Как отмечено в [8], слово «культура» является одним из нескольких наиболее сложных для толкования слов. Этимологически оно происходит от слова «culture» и обозначает культивирование чего либо природного. В английском языке это однокоренное со словом «cultur», что обозначает резак земледельческого плуга. То есть, в момент своего появления слово «культура» обозначало материальную деятельность и только затем превратилось в обозначение сложной духовной сущности, которой трудно дать однозначное определение. Существует более 1500 определений, описывающих феномен культуры. Возможно и вследствие многозначности ла

Таблица 1. Краткая характеристика рисков, угроз и вызовов цифровой трансформации в социально-культурном аспекте  
Table 1. Brief description of the risks, threats and challenges of digital transformation in the socio-cultural aspect

1	Глобальный уровень	<ul style="list-style-type: none"> <li>- несоответствие скорости изменений в цифровой среде со скоростью эволюционных изменений в их общественном восприятии</li> <li>- снижение уровня доверия к контенту в Сети</li> <li>- рост числа интернет зависимых людей</li> <li>- ослабленные социальные связи и рост спроса на впечатления и ощущения в виртуальной среде</li> <li>- возрастающая роль алгоритмизации формирования поведения пользователей в Сети</li> <li>- рост масштабов «фатического» общения - онлайн-взаимодействия людей (без какого-либо значимого содержания)</li> <li>- проблемы формирования достоверных сегментов глобальной сети, вследствие роста спекулятивных информационных коммуникаций</li> <li>- рост применения искусственного интеллекта для создания фейковых новостей и искажения аудио- и видеоконтента</li> <li>- растущее влияние индустрии фейков и дезинформации на пользователей и СМИ</li> </ul>
---	--------------------	--

Продолжение таблицы 1  
Table 1 (continuation)

2	Национальный уровень	<ul style="list-style-type: none"> <li>- противоречия между ростом влияния технологических гигантов (супер – хабов – Facebook, Алибаба, Амазон и др.) на культурную политику в мире и возможностями государств по снижению рыночной силы глобальных цифровых платформ</li> <li>- воздействие деструктивного контента на сознание и когнитивные способности людей</li> <li>- риски проявлений когнитивной войны, когда искажаются смыслы и массово снижается способность населения критически мыслить</li> <li>- отставание системы государственно-правового регулирования от вызовов новых технологических возможностей</li> <li>- обострение негативных проявлений цифровизации (кибермошенничество, распространение фейковых новостей и т.д.)</li> <li>- риски криптовалют, которые позволяют преступникам совершать анонимные платежи без традиционного финансового контроля</li> <li>- кибератаки, совершаемые с целью вымогательства</li> <li>- рост потребления электроэнергии вследствие избыточного трафика и майнингового бума</li> </ul>
3	Корпоративный (уровень предприятия, организации)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- финансовые риски, связанные с возвратом затрат на цифровизацию и сохранение ранее вложенных инвестиций</li> <li>- риски запаздывания формирования «цифрового образа мышления», сопротивления обучению и принятию цифровой культуры</li> <li>- риски некачественной подготовки первичных данных и ненадлежащего использования данных</li> <li>- риски несоблюдения или отклонения от установленных стандартов документов и данных</li> <li>- риски появления трудностей при организации «бесшовного» взаимодействия приложений и систем и их интеграции с цифровыми платформами</li> <li>- риски обучения и использования нейросетей</li> </ul>
4	Личностный уровень	<ul style="list-style-type: none"> <li>- риски возросшего индивидуализма – деструктивного состояния, в котором нет стабильной сети, обеспечивающей социальную интеграцию и нравственное регулирование</li> <li>- риски информационной перегрузки</li> <li>- риски подверженности манипуляциям в социальных сетях</li> <li>- риски зависимости от технологий</li> <li>- риски феномена культуры отмены (cancel culture)</li> </ul>

тинского слова «colere».

В настоящее время появление понятия цифровой культуры отображает очередной исторический переход общества к деятельности в цифровой среде. Как прежде естественное сырье, данные в цифровой форме перерабатываются в значимую для человеческой деятельности форму и затем монетизируются. Однако, потребители, как и сами создатели информационной

(цифровой) среды, как и прежде те, кто культивировал землю, все меньше имеют возможностей культивировать самих себя из-за недостатка времени.

В большинстве публикаций, цифровая культура понимается как «система ценностей, установок, норм и правил поведения, которую принимает, поддерживает и транслирует команда цифровой трансформации». Согласно словарю Оксфорда, цифровая культура – это

понимание современных информационных и цифровых технологий, их функциональных возможностей, а также возможность их грамотного использования в работе и в быту. Более глубокое значение этого понятия, на наш взгляд, состоит в осознании той энергии, которую дополнительно дает человеческая культура и цифровая культура, в частности, при взаимодействии и совместной деятельности. То есть, важно понимание того, что синергетический эффект от соединения ресурсов и активов предприятия зависит от уровня общей, производственной и цифровой культуры.

Согласно теории В.И. Вернадского о ноосфере, каждый человек является носителем и создателем свободной энергии, которая в ходе осознанной совместной деятельности людей, превращается в энергию человеческой культуры, обеспечивая связь и переход от биосферы к ноосфере [2]. Очевидно, что речь идет о космической силе энергии человеческого энтузиазма, рождаемого в ходе совместной деятельности людей для достижения общезначимых целей, и создания одновременно, новых возможностей для самореализации людей. То есть, посредством энергии человеческой культуры более эффективно осуществляется адаптация человека и сообществ к новым технологиям по схеме «ознакомление – применение – закрепление опыта – накопление и систематизация знаний».

Синергетический эффект повышения уровня цифровой культуры достигается путем качественной подготовки, накопления, систематизации, аналитической обработки и использования первичных данных. Это существенно сокращает издержки на ведение бизнеса и повышает степень доверия в коллективе. Одновременно, с точки зрения естественной гармонии, цифровая культура является особой эстетикой в оценке привлекательности различных компонентов цифровой среды, таких как, веб-браузеры, веб-сайты и иконки, а также звуковое и цветное обеспечение (аналогично традиционной архитектуре).

Исходя из перечисленного, представляется, что в механизме формирования цифровой культуры можно выделить следующие три уровня рассмотрения [5]:

- базовый - понимание закономерностей развития информационных (цифровых) технологий и цифровой культуры, как составной части общей культуры и осознание (знание) важности рационального формирования информационных ресурсов, программ и технической инфраструктуры на основе принципов синергетики и законов естественной гармонии (золотого сечения, техноценоза и т.д.), а также понимания рисков ускоренной цифровизации и масштабного применения технологий искусственного интеллекта;

- функциональный – культуру формирования баз данных и баз знаний, создания и обучения нейросетей для систем искусственного интеллекта, культуру использования систем фиксации данных и отображения информации для выработки и принятия управленческих решений на основе «связности» производственных процессов, обеспечиваемой цифровыми информационными технологиями;

- представительный – культуру использования информационных и цифровых технологий и культуру поведения в социальных сетях (включая этику, культуру диалога и академического письма).

Скорость формирования цифровой культуры в разных сферах и на разных уровнях различна. Наиболее быстро это происходит в организационном управлении предприятиями (организациями) в потребительском сегменте экономики. Здесь, цифровая культура формируется вокруг платформ оказания услуг, как часть корпоративной культуры и понимается не только как инструмент повышения уровня доверия и снижения издержек на взаимодействие, но и, как инструмент адаптации индивида и коллективов к технологическим инновациям, усложняющим бизнес-среду и требующих соответствующей подготовки кадров и изменения организационных схем.

Однако в промышленности процесс изменений идет более медленно, в силу инерционности производственных технологий и соответственно программного обеспечения для их поддержки. Одновременно, существующая строго иерархическая организационно-административная культура управления на промышленных предприятиях часто противоречит цифровой культуре (горизонтальное сотрудничество, инновации, аналитика на основе данных, клиентоориентированность и др.). Поэтому, при подготовке плана мероприятий цифровой трансформации, важно предварительное формирование «цифрового мышления», под которым понимается представление цифровой трансформации, как сложного и многоаспектного процесса модернизации с использованием многообразного и динамично изменяющегося комплекса различных базовых и прикладных решений, что обуславливает необходимость развития таких направлений, как инжиниринг цифровой трансформации и цифровой культуры.

**Инжиниринг цифровой трансформации.** Как правило, цифровизация осуществляется путем применения уже отработанных на предприятии информационных систем и внедрением сквозных цифровых технологий (интернета вещей, облачных технологий, систем искусственного интеллекта, аналитики боль-

ших данных и др.). При этом, изменения должны эффективно происходить с учетом сохранения сделанных ранее инвестиций в программы и базы данных, так как основная доля трудозатрат приходится на прикладное программирование и базы данных.

Сущность эволюционных изменений в программных элементах и системах лежит в плоскости улучшения их функциональности и повышения качества. Методы систематического изменения отдельных элементов информационной системы (баз данных, приложений, комплексов, компонентов, и др.) и соответствующих изменений в организационных схемах можно обозначить, как концепцию инженерии цифровой трансформации предприятия. Концепция должна включать стеки различных приложений для различных производственных и управленческих процессов, требования к их функциональной совместимости и сопровождению в рамках постоянно развивающейся программной системы, требования к навыкам персонала и т.д. В совокупности это позволит своевременно учесть риски цифровой трансформации на уровне операционной модели, технологий и культуры и обеспечить координацию и порядок действий, в части внедрения программных средств, закупки техники, подготовки кадров и развития организационно-методического обеспечения модернизации.

Предполагается, что на отраслевом и общегосударственном уровне будут созданы фонды программ, цифровые платформы типовых решений и технологий (транзакционных, информационных, операционных), на основе которых можно будет осуществлять последовательную интеграцию цифровых технологий с бизнес-процессами, начиная от датчиков, систем передачи данных, технологий обработки и до операционной модели принятия решений или автоматического управления производственным процессом. Ключевую роль играет внедрение стандартов представления данных и процессов, а также наличие не излишне большого количества четко фиксированных правил цифровой трансформации.

**Инжиниринг цифровой культуры: развитие теории и практики.** Исследование условий формирования информационной (цифровой) культуры во всем ее многообразии проявления этого феномена требует соответствующей социокультурной инженерии (СКИ) [9] в цифровой среде, как совокупности систем мониторинга, анализа, выработки стратегии и реализации практических методик развития цифровой культуры, путем формирования правил и инструкций и внедрения различных организационных практик, инструментов и механизмов, как для мягкого «подталкивания»

индивидуума к соблюдению этики общения, так и жесткого принуждения.

К жестким мерам относятся забанивание, деплатформинг, внедрение «фильтров загрузки» контента, контроль социального поведения и другое, что одновременно может влиять на уровень участия людей в решении общих проблем и потому требует специальных исследований. Более эффективно мягкое ограничение, которое осуществляется путем повышения значимости собственных знаний и самоконтроля, обучения и «подталкивания» к высокой культуре организационно-правовыми мероприятиями и технологиями, что обуславливает важность специальных знаний по цифровой культуре, по сравнению с цифровой грамотностью в формировании человеческого капитала.

Теория данного феномена находится в начальной стадии становления. В то же время общество нуждается в ее ускоренном оформлении, а также в качественном и количественном анализе. Для этого необходимо выявить уровни и аспекты цифровой культуры, механизмы и принципы ее формирования, обобщить передовые практики и подходы. Продуктивным представляется применение принципов синергетики и положений социофизики, в рамках которых развиваются новые междисциплинарные подходы и технологии (в том числе положений теории общих систем Л. фон Берталанфи, принципов У. Р. Эшби (необходимого многообразия), Ле Шателье (сохранения равновесия в системе)), концепций «поведенческой экономики» и других подходов, гипотез, законов и принципов универсального характера.

**Заключение.** Цифровая трансформация направлена на увеличение темпов социально-экономического развития и одновременно, вследствие стремительного и многообразного развития технологий, сопровождается новыми рисками, угрозами и вызовами, что требует соответствующего формирования и развития цифровой культуры.

В масштабах национальной экономики успешность цифровой трансформации, связана не только с потребительским сегментом экономики, но и взаимовязанным развитием реального сектора экономики в направлении повышения уровня управляемости отраслями и предприятиями как совокупностью конкретных активов в различных областях. Так основой цифровой экономики являются платформенные решения, посредством которых реализуется эффект связности (гиперподключение), что означает растущую взаимосвязь людей, организаций, данных, процессов и технологий и, как следствие, требует соответствующего развития цифровой культуры.



Развитие теории и практики цифровой культуры требует междисциплинарного подхода и создания соответствующих нормативных актов, механизмов и инструментов формирования социальной и экономической заинтересованности людей и коллективов в

соблюдении установленных государством стандартов и требований, что позволит повысить эффективность цифровой трансформации и снизить риски глобальной цифровизации.

## Список литературы

1. Кулагин В., Сухаревски А., Мефферт Ю. Digital@Scale : Настольная книга по цифровизации бизнеса / Владимир Кулагин, Александр Сухаревски, Юрген Мефферт. М. : Интеллектуальная Литература, 2019. — 293 с.
2. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. - М.: Наука, 1988. -С. 131-132.
3. Положихина М.А. Влияние цифровизации на безопасность: от индиви-дуума до социума II Социальные новации и социальные науки. - Москва: ИНИОН РАН, 2020. - № ]. - С. 9-27.
4. Мошелла Д. Путеводитель по цифровому будущему / Д. Мошелла «Альпина Диджитал», 2018
5. Иванов В.В., Малинецкий Г.Г. Цифровая экономика: мифы реальность, возможности. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2017. 63 с.
6. Ахромеева Т.С., Малинецкий Г.Г., Посашков С.А. Пределы и риски цифровой трансформации. Цифровая трансформация. 2020;(2):51-57. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-2-51-57>
7. Паншин Б.Н. Цифровая культура: теория и практика. Наука и инновации. – 2020. – №8, стр 34-40.
8. Иглтон, Т. Идея культуры. / пер. с англ. И.Кушнаревой; под науч. Ред. А. Смирнова; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: Изд. Дом Высшей школы экономики, 2019. – 2-е изд. – 192 с.
9. Тульчинский Г.Л., Цифровизация и социокультурный инжиниринг // Философские науки. 2018. №6. С. 100- 108.

## References

1. Kulagin V., Sukharevsky A., Meffert Y. Digital @ Scale: Handbook on digitalization of business / Vladimir Kulagin, Alexander Sukharevsky, Jurgen Meffert. M.: Intellectual Literature, 2019. -- 293 p.
2. Vernadsky V.I. Philosophical thoughts of a naturalist. - M. : Nauka, 1988. -S. 131-132.
3. Polozhikhina M.A. Impact of digitalization on security: from the individual to society II Social innovations and social sciences. - Moscow: INION RAN, 2020. - No.]. - S. 9-27.
4. Moshella D. Guide to the digital future / D. Moshella "Alpina Digital", 2018
5. Ivanov V.V., Malinetskiy G.G. Digital economy: myths, reality, opportunities. IPM them. M.V. Keldysh RAN, 2017.63 p.
6. Akhromeeva T.S., Malinetskiy G.G., Posashkov S.A. Limits and risks of digital transformation. Digital transformation. 2020; (2): 51-57. <https://doi.org/10.38086/2522-9613-2020-2-51-57>
7. Panshin B.N. Digital culture: theory and practice. Science and innovation. - 2020. - No. 8, pp. 34-40.
8. Eagleton, T. The idea of culture. / per. from English I. Kushnareva; under scientific. Ed. A. Smirnova; Nat. issled. University Higher School of Economics. - M. : Publishing house. House of the Higher School of Economics, 2019. -- 2nd ed. - 192 p.
9. Tulchinsky G.L. Digitization and social and cultural engineering // Philosophical sciences. 2018. No. 6. Pp. 100-108.

*Received: 12.08.2021*

*Поступила: 12.08.2021*

## Проблемы проектирования комплексной системы защиты информации облачных ресурсов в Республике Беларусь

**Кочин В.П.**, к.т.н., доцент, начальник центра информационных технологий

E-mail: kochyn@bsu.by

Белорусской государственной университет,  
пр-т. Независимости, д. 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

**Шанцов А.В.**, аспирант

E-mail: ShantsovAV@bsu.by

Белорусской государственной университет,  
пр-т. Независимости, д. 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Рассмотрено влияние облачных вычислений на информационную безопасность информационных ресурсов при их переносе или развертывании на облачных платформах. Определена актуальность проблемы защиты информационных ресурсов на облачных платформах, в том числе и для Республики Беларусь, и необходимость построения комплексной системы защиты облачных ресурсов. Выделены основные особенности облачных вычислений, влияющих на защищенность информационных ресурсов, такие как: модель совместной ответственности провайдера и клиентов облака по обеспечению информационной безопасности; защита инфраструктуры облачной платформы провайдером; применение надежной подсистемы идентификации клиентов облака; надежная изоляция виртуальных ресурсов клиентов облака; необходимость изменения архитектуры приложений клиентами облака и использования ими шифрования; взаимодействие провайдера и клиентов облака при организации процедуры аудита, реагирования на инциденты и реализации процедур идентификации и аутентификации в развертываемых услугах. Предложены общие подходы по реализации комплексной системы защиты информации облачных ресурсов.

**Ключевые слова:** информационные технологии, информационная безопасность, облачные вычисления.

**Для цитирования:** Кочин, В. П. Проблемы проектирования комплексной системы защиты информации облачных ресурсов в Республике Беларусь/ В. П. Кочин, А. В. Шанцов// Цифровая трансформация. – 2021. – № 3 (16). – С. 34–39.



© Цифровая трансформация, 2021

## Problems of Designing Complex Information Security System for Cloud Resources in the Republic of Belarus

**V.P. Kochyn**, Ph.D., Head of the Information Technology Department.

E-mail: kochyn@bsu.by

Belarusian State University, 4 Independence Ave., 220030 Minsk,  
Republic of Belarus.

**A.V. Shantsou**, Ph.D. student.

E-mail: ShantsovAV@bsu.by

Belarusian State University, 4 Independence Ave., 220030 Minsk,  
Republic of Belarus

**Abstract.** The influence of cloud computing on the information security of information resources during their transfer or deployment on cloud platforms is considered. The relevance of the problem of protecting information resources on cloud platforms, including for the Republic of Belarus, and the need to build an integrated system for protecting cloud resources are determined. The main features of cloud computing, affecting the security of information resources, are highlighted, such as: a model of joint responsibility of the provider and cloud clients to ensure information security; protection of the cloud platform infrastructure by the provider; the use of a reliable subsystem for identifying cloud clients; reliable isolation of virtual resources

of cloud clients; the need for cloud clients to re-architect their applications and use encryption; Interaction between the cloud provider and clients when organizing audit procedures, incident response and implementing identification and authentication procedures in deployed services. General approaches to the implementation of an integrated information security system for cloud resources are proposed.

**Key words:** information technology, information security, cloud computing

**For citation:** Kochyn V.P., Shantsou A. V. Problems of designing complex information security system for cloud resources in the Republic of Belarus. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 3 (16), pp. 34–39 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** На сегодняшний день облачные вычисления являются одной из наиболее быстро развивающихся областей среди информационных технологий. Все больше предприятий производят миграцию своих информационных ресурсов в облако или сразу используют облачную среду при развертывании информационных ресурсов. В подтверждение этой тенденции можно привести статистику роста общей стоимости рынка облачных вычислений [1]. По данной оценке, уже к 2022 году ориентировочная стоимость рынка облачных вычислений составит более 500 миллиардов долларов США. Безусловно, переход к облачным вычислениям имеет ряд существенных преимуществ для предприятий по сравнению с использованием традиционных подходов. Рассмотрим основные из них. На первом месте здесь – экономический аспект. Появление публичных облаков сделало доступным развертывание собственных информационных ресурсов для небольших компаний и организаций, которые не могли себе позволить аренду или создание собственных центров обработки данных (далее – ЦОД).

В качестве второго аспекта можно выделить повышение доступности ресурсов и их информационную безопасность. Применение облачных технологий дает преимущества при распределении нагрузки в случае DDOS атак. В облаке гораздо проще зарезервировать вычислительные мощности и, в случае необходимости, можно также просто и быстро их нарастить. Также в облаке под один сервис выделяется одна виртуальная машина, что позволяет эффективнее настроить ее брандмауэр отключив все неиспользуемые порты. Помимо этого, виртуальные ресурсы динамичны, для облака частое изменение IP адреса ресурса – нормальная ситуация, что также может затруднить атаки на ресурсы.

Тем не менее, остается множество вопросов обеспечения безопасности облачных ресурсов. В ходе одного из исследований [2], владельцам информационных ресурсов было предложено оценить уровень безопасности при переходе

в облако. Выяснилось, что именно этот вопрос беспокоит очень многих. Согласно результатам, наблюдается чрезмерная обеспокоенность: 47% опрошенных очень сильно обеспокоены вопросом облачной надежности, 43% проявляют умеренную тревогу, 5% не имеют об этом никакого представления и только оставшиеся 5% не выражают обеспокоенности и уверены в защищенности своих ресурсов.

Не менее интересной оказалась оценка эффективности модели безопасности периметра для облачных ресурсов, применяемая в ЦОД. По мнению большинства (68% голосов), для обеспечения облачной безопасности, не является достаточным применение стратегии, основанной на организации безопасности периметра, 18% затруднилось ответить.

Для Республики Беларусь вопросы защиты информации облачных ресурсов также являются актуальными [3]. На государственном уровне принято решение о переносе информационных ресурсов государственных ведомств и учреждений на облачные платформы специально созданного республиканского ЦОД [4]. Наравне с государственными органами частные формы собственности также активно используют облачные услуги для бизнеса, предоставляемые республиканским ЦОД или такими компаниями как А1, МТС, IBA, Hoster.by и другими.

Изучение проблемы безопасности облачных ресурсов в Республики Беларусь проводилось рядом авторов. Однако в их работах рассматривались отдельные аспекты обеспечения информационной безопасности, а не комплексный подход к решению данной проблемы. Так, например, проводился анализ моделей аутентификации для облачных платформ [5], рассматривались подсистемы обнаружения и предотвращения вторжений [6, с. 98] [7, с. 127]. В работе [8] описывался процесс синтеза модели информационной безопасности для облачных платформ, предоставляющих «Инфраструктуру в качестве услуги». Целью данной работы является определение особенно

стей облачных вычислений, влияющих на защищенность информационных ресурсов, и обоснование необходимости применения комплексного подхода при построении системы защиты информации облачных ресурсов.

**Влияние облачных вычислений на информационную безопасность.** Информационная безопасность современных облачных решений не является безупречной [9]. Однако, при правильной конфигурации, облачные ресурсы по степени защищенности не только не уступают традиционным вычислениям, но и могут превосходить по ряду показателей. Существует множество примеров развертывания публичных, гибридных и частных облаков с высоким уровнем защищенности. Для обеспечения надежной защиты информации в облачных ресурсах необходимо рассмотреть особенности обеспечения безопасности информации, связанные со спецификой функционирования облака [10].

1. Существенное изменение в модели угроз и политики безопасности. При использовании публичных облаков провайдер предоставляет облачные ресурсы клиентам, которые в свою очередь обслуживают своих потребителей. В зависимости от модели услуг («Программное обеспечение как услуга» – SaaS, «Платформа как услуга» – PaaS, «Инфраструктура как услуга» – IaaS), обязанности по обеспечению безопасности информационных ресурсов в той или иной степени возлагаются на облачного провайдера, но ответственность за сохранность данных перед конечными потребителями несут клиенты, арендующие ресурсы у провайдеров. Следовательно, изначально при миграции в облако необходимо детально изучить уровень обслуживания, предоставляемый облачным провайдером, имеющиеся сертификаты и аттестаты соответствия, а также политику безопасности облачного провайдера и соблюдения им передовых отраслевых практик в области защиты информации, а также выполнить оценку рисков для размещаемых в облаке активов.

2. Провайдер облака должен обеспечивать надежную защиту инфраструктуры облака и подсистемы идентификации. Под идентификацией здесь понимается доступ к управлению виртуальными ресурсами клиентами облака: остановка, запуск и редактирование виртуальных машин, виртуальных контейнеров, рабочих нагрузок, внесение изменений в загрузочные образы и т.д. Защита инфраструктуры – один из ключевых аспектов обеспечения безопасности в традиционных

вычислениях. Хотя облачные вычисления имеют свои особенности, за основу построения системы защиты информации взят традиционный подход.

3. Облачный провайдер при настройке инфраструктуры облака должен рассматривать своих клиентов, как потенциальных нарушителей. Это не означает, что клиенты облачных ресурсов обязательно являются нарушителями информационной безопасности или враждебно настроены по отношению к другим клиентам, имеющим активы на этом же облачном ресурсе. Это один из способов повышения уровня безопасности облака. Взломанные виртуальные машины (далее – VM) позволяют злоумышленнику реализовать новые векторы атаки на VM других клиентов. Следовательно, в случае если клиенты облака не будут рассматриваться как потенциальные нарушители, защищенность всего облака будет существенно зависеть от защищенности наиболее уязвимой VM.

4. Облачный провайдер должен гарантировать изоляцию данных своих пользователей. VM динамичны и могут при необходимости освободить или запрашивать новые ресурсы. В этом случае провайдер должен гарантировать, что при перераспределении ресурсов накопителей новый пользователь не сможет восстановить данные предыдущего пользователя. Также провайдер должен гарантировать защиту энергозависимой памяти от несанкционированного мониторинга со стороны пользователей, что также может привести к раскрытию информации пользователей облака.

5. Клиентам облака необходимо использовать шифрование для своих информационных ресурсов. Хотя применение шифрования и снижает производительность, но избавляет от целого ряда проблем при хранении данных. При использовании шифрования основным вопросом становится управление ключами. В политике безопасности должно быть определено кто должен управлять ключами: провайдер, клиент или конечный пользователь.

6. Учет особенностей облака при развертывании систем безопасности. Традиционные системы обнаружения (предотвращения) вторжений не смогут эффективно функционировать в облачной среде, так как их датчики не способны отслеживать трафик, передаваемый между VM на одной аппаратной платформе. При развертывании на VM брандмауэров, прокси-серверов и других систем безопасности следует учитывать, что VM, в основном, не столь производительны как аппа

ратные решения и могут стать узким местом в создаваемой сети.

7. Аудит и реагирование на инциденты. Здесь особенно важно тесное взаимодействие клиентов облака с провайдером, для реализации качественной системы по сбору и обработке данных о событиях в облаке. Как правило, потребуется доработка данной системы с учетом специфики облака. Так, например, журналы аудита должны храниться на отдельном виртуальном устройстве (сервисе). Важно обеспечить своевременность отправки журналов аудита на данное устройство, так как динамичный характер выделения ресурсов VM может привести к потери данных аудита при отключении части VM. Необходимо предусмотреть специальные идентификаторы VM. В отличие от традиционных решений, VM не могут быть точно идентифицированы по таким параметрам как IP или MAC адрес. Помимо всего этого, нужно согласовать с провайдером то, какие данные будут доступны для аудита, так как облачные платформы ограничивают доступ клиентов к различным журналам аудита (особенно при использовании облачных сервисов по моделям SaaS и PaaS). При реагировании на инциденты также необходимо согласовать с провайдером зоны ответственности, обязанности каждой из сторон, порядок действий, а также резервные каналы связи, в случае недоступности основных (при атаках отказа в обслуживании).

8. Федеративный доступ. В настоящее время Интернет предоставляет для потребителей множество разнообразных сервисов (услуг). Почти каждый из этих сервисов требует от потребителя прохождения процедуры идентификации и аутентификации, как правило на основании уникального идентификатора и пароля. В тоже время, существенно возросло число взломов аккаунтов потребителей услуг, одна из причин – простые пароли, неустойчивые к атакам по словарю. Для искоренения данной проблемы современные сервисы требуют от своих потребителей задания сложных паролей с высокой стойкостью. Однако это делает крайне неудобным управление многочисленными аккаунтами со сложными паролями. Выход из данной ситуации – модель федеративного доступа. При использовании такой модели доступа облачные клиенты должны определить с кем у них могут быть доверительные отношения. Доверяют ли они процедуру доступа таким информационным ресурсам, как, например, Google, Amazon, Facebook и т.д., или они бы предпочли доверить процедуру доступа облачному провай-

деру? Либо у пользователей вообще отсутствует доверие к сторонним ресурсам, и они будут осуществлять процедуру доступа исключительно самостоятельно. Все эти вопросы должны найти отражение в политике безопасности облачных пользователей.

В качестве актуального примера применения модели федеративного доступа можно привести Белорусскую интегрированную сервисно-расчетную систему (далее – БИСРС). БИСРС – комплекс информационных систем и ресурсов, предназначенный для идентификации пользователей (физических и юридических лиц) с применением идентификационных карт (ID-карт) в целях оказания им электронных услуг (в том числе административных процедур). Одним из компонентов БИСРС является единая система идентификации физических и юридических лиц (далее – ЕСИФЮЛ). ЕСИФЮЛ осуществляет процедуру единого входа (идентификацию и аутентификацию пользователей) для всех информационных систем, интегрированных в общегосударственную автоматизированную информационную систему [11].

9. Изменение архитектуры приложений под работу в облаке. Облачные вычисления, в основном, обеспечивают безопасное функционирование для приложений, но, как и в большинстве областей облачных технологий, они требуют соразмерных изменений существующих практик, процессов и технологий, которые не были предназначены для работы в облаке. В частности, для приложений необходимо отслеживать API-интерфейсы на предмет аномальной активности и злоупотреблений, особенно когда приложение развернуто на платформе PaaS. Архитектура приложения должна учитывать ограниченную «видимость» и «прозрачность». Под этими терминами подразумевается, что пользователю, развернувшему приложение в облаке, сбор данных о функционировании приложения (системные, сетевые журналы, мониторинг активности приложения) доступен не в полном объеме.

10. Защита данных при их миграции в облако. В большинстве случаев новым облачным клиентам не захочется осуществлять процесс переноса данных в облако в ручном режиме. Им необходимо убедиться в надежности интерфейсов облачного провайдера, предназначенных для передачи данных.

11. Облачным пользователям необходимо узнать у провайдера, где географически будут размещаться их данные. Этот аспект важен не

только с точки зрения доступности ресурсов пользователей, но и с точки зрения распространяемой юрисдикции, предоставления доступа к данным третьей стороне и т.д.

**Заключение.** В данной статье рассмотрены особенности защиты информационных ресурсов в облаке. К ним относятся как технические, так и организационные меры. Особое место занимает взаимодействие с облачным провайдером. В тоже время, для облака остаются актуальными традиционные методы защиты информации: защита периметра и инфраструктуры, процедуры контроля и управления доступом, использование

шифрования, аудит и другое.

Надежность защиты информации можно сравнить с надежностью цепи, где надежность всей цепи определяется надежностью наиболее слабого звена. Этот факт справедлив и для безопасности облаков, где безопасность информации в облаке, определяется степенью защищенности наиболее уязвимого места. Поэтому система защиты должна иметь комплексный характер. Только в случае применения комплексной системы защиты облака, охватывающей все аспекты безопасности, можно говорить о надежной защите информационных ресурсов.

## Список литературы

1. Статистика облачных вычислений и факты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hostingpill.com/ru/статистика-облачных-вычислений>. – Дата доступа 20.01.2021.
2. Облачная безопасность: обзор отчета Spotlight [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.it-grad.ru/blog/oblachnaya-bezopasnost-samoe-interesnoe-iz-otcheta-spotlight-report>. – Дата доступа: 17.01.2021.
3. Приказ оперативно-аналитического центра от 28.03.2014 № 26 «Об утверждении Положения об основах использования государственными органами и организациями республиканской платформы, действующей на основе технологий облачных вычислений» с изменениями, утвержденными приказом оперативно-аналитического центра от 16.03.2020 № 80.
4. Указ Президента Республики Беларусь от 23.01.2014 № 46 «Об использовании государственными органами и иными государственными организациями телекоммуникационных технологий» с изменениями, утвержденными Указами Президента Республики Беларусь от 31.12.2015 № 542, от 16.12.2019 № 461.
5. Вишняков В.А., Гондаг Саз М.М. Модели и средства аутентификации пользователей в корпоративных системах управления и облачных вычислениях. Доклады БГУИР. 2016; 3(97): 111-114.
6. Вишняков В.А., Мурашко Е.А., Прокофьев С.В., Марычев Д.В. Система предотвращения вторжений в корпоративную сеть с использованием технологий виртуализации. Материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инфокоммуникации» БГУИР. 2018.
7. Вишняков В.А., Мурашко Е.А., Петкевич Д.А., Марычев Д.В. Система обнаружения вторжений в корпоративную сеть с использованием технологий виртуализации. Материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инфокоммуникации» БГУИР, 2018.
8. Олизарович Е.В., Бражук А.И. Концептуальные основы анализа моделей информационной безопасности облачных систем класса «Инфраструктура как услуга». Доклады БГУИР. 2019; 6(124): 12-20.
9. Отчет об облачной безопасности Check Point software technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pages.checkpoint.com/2020-cloud-security-report.html>. – Дата доступа: 12.01.2021
10. Руководство по безопасности для критических важных областей облачных вычислений Cloud Security Alliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://downloads.cloudsecurityalliance.org/assets/research/security-guidance/security-guidance-v4-FINAL.pdf>. – Дата доступа: 12.01.2021
11. О Белорусской интегрированной сервисно-расчётной системе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mpt.gov.by/ru/o-bisrs>. – Дата доступа: 26.01.2021

## References

1. Statistika oblachnykh vychisleniy i fakty [Cloud computing statistics and facts]. Available at: <https://hostingpill.com/ru/статистика-облачных-вычислений> (accessed: 20.01.2021) (in Russian).
2. Oblachnaya bezopasnost: obzor otcheta Spotlight [Cloud Security: Spotlight Report Overview]. Available at: <https://www.it-grad.ru/blog/oblachnaya-bezopasnost-samoe-interesnoe-iz-otcheta-spotlight-report>. (accessed: 17.01.2021) (in Russian).
3. Prikaz operativno-analiticheskogo tsentra ot 28.03.2014 № 26 [Order of the Operational Analytical Center dated 28.03.2014 No. 26] «Ob utverzhdenii Polozheniia ob osnovakh ispol'zovaniia gosudarstvennymi organami i organizatsiiami respublikanskoj platformy, deistvuiushchei na osnove tekhnologii oblachnykh vychislenii» s izmeneniiami, utverzhdennymi prikazom operativno-analiticheskogo tsentra ot 16.03.2020 № 80 (in Russian).
4. Ukaz Prezidenta Respubliki Belarus' ot 23.01.2014 № 46 [Decree of the President of the Republic of Belarus dated

January 23, 2014 No. 46] «Ob ispol'zovanii gosudarstvennymi organami i inymi gosudarstvennymi organizatsiiami telekommunikatsionnykh tekhnologii» s izmeneniiami, utverzhdennymi Ukazami Prezidenta Respubliki Belarus' ot 31.12.2015 № 542, ot 16.12.2019 № 461 (in Russian).

5. Vishnjakov V.A., Gondag Saz M.M. Models and means of user authentication in corporate management systems and cloud computing. Doklady BGUIR [BSUIR reports]. 2016; 3(97): 111-114 (in Russian).

6. Vishnjakov V.A., Murashko E.A., Prokof'ev S.V., Marychev D.V. Enterprise network intrusion prevention system using virtualization technologies. Materialy 54 nauchnoy konferentsii aspirantov, magistrantov i studentov «Infokommunikatsii» BGUIR [Materials of the 54th Scientific Conference of Postgraduates, Undergraduates and Students «Infocommunications» BSUIR]. 2018 (in Russian).

7. Vishnjakov V.A., Murashko E.A., Petkevich D.A., Marychev D.V. Enterprise network intrusion detection system using virtualization technologies. Materialy 54 nauchnoy konferentsii aspirantov, magistrantov i studentov «Infokommunikatsii» BGUIR [Materials of the 54th Scientific Conference of Postgraduates, Undergraduates and Students «Infocommunications» BSUIR]. 2018 (in Russian).

8. Olizarovich E.V., Brazhuk A.I. Conceptual framework of analysis of information security models of cloud systems of the class «Infrastructure as a Service». Doklady BGUIR [BSUIR reports]. 2019; 6(124): 12-20 (in Russian).

9. Otchet ob oblachnoy bezopasnosti Check Point software technologies [Check Point software technologies cloud security report]. Available at: <https://pages.checkpoint.com/2020-cloud-security-report.html>. (accessed: 12.01.2021).

10. Rukovodstvo po bezopasnosti dlya kriticheskikh vazhnykh oblastey oblachnykh vychisleniy Cloud Security Alliance [Cloud security alliance's security guidance for critical areas of focus in cloud computing]. Available at: <https://downloads.cloudsecurityalliance.org/assets/research/security-guidance/security-guidance-v4-FINAL.pdf>. (accessed: 12.01.2021).

11. O Belorusskoy integrirovannoy servisno-raschetnoy sisteme [About the Belarusian integrated service settlement system]

*Received: 15.07.2021*

*Поступила: 15.07.2021*

## Методика виртуализации вычислительных ресурсов масштаба предприятия

**П. И. Питкевич**, бакалавр технических наук

E-mail: pavel.pitkevich@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-1760-9395

Белорусский государственный университет информатики и радио-электроники, ул. Платонова 39, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Д. Н. Одинец**, доцент, кандидат технических наук

E-mail: anketa149@rambler.ru

ORCID ID: 0000-0001-9111-1299

Белорусский государственный университет информатики и радио-электроники, ул. Платонова 39, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье рассмотрена методика виртуализации вычислительных ресурсов масштаба предприятия. Предлагается концепт серверной инфраструктуры предприятия, которая будет функционировать на объекте с численностью до 1000 пользователей. Рассмотрено использование платформы виртуализации VMware vSphere с подробным описанием функций, которые были использованы на предприятии. Произведён сравнительный анализ данной платформы с другими системами виртуализации.

**Ключевые слова:** виртуализация, вычислительные ресурсы, инфраструктура, отказоустойчивая система.

**Для цитирования:** Питкевич, П. И. Методика виртуализации вычислительных ресурсов масштаба предприятия / П. И. Питкевич, Д. Н. Одинец // Цифровая трансформация. – 2021. – № 3 (16). – С. 40–46.



© Цифровая трансформация, 2021

## Enterprise-scale Computing Resource Virtualization Methodology

**P.I. Pitkevich**, Bachelor of Science in Engineering

E-mail: pavel.pitkevich@gmail.com

ORCID ID: 0000-0002-1760-9395

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 39 Platonova Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**D.N. Adzinets**, Candidate of Sciences, TechSciPhD

E-mail: anketa149@rambler.ru

ORCID ID: 0000-0001-9111-1299

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 39 Platonova Str., 220013 Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The paper discusses the method of virtualization of enterprise-scale computing resources. The concept of the enterprise server infrastructure is being created, which will operate in an enterprise with up to 1,000 users. The use of the VMware vSphere virtualization platform is considered with a detailed description of the functions that were used in the enterprise. A comparative analysis of this platform with other virtualization systems is made.

**Key words:** virtualization, computing resources, infrastructure, clusters, fail tolerance system.

**For citation:** Pitkevich, P. I., Adzinets D.N. Enterprise-scale computing resource virtualization methodology. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 3 (16), pp. 40–46 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021



**Введение.** Виртуализация — это процесс создания структуры виртуальных серверов, инфраструктур, устройств и вычислительных ресурсов. Виртуализация изменяет аппаратно-программные отношения и является одним из основополагающих принципов технологии облачных вычислений, позволяет в полной мере использовать их возможности. Технологии виртуализации позволяют компаниям создавать программное (или виртуальное) предоставление виртуальных хранилищ, серверов, данных, настольных компьютеров и приложений. [1]

Отличным примером того, как виртуализация работает в повседневной жизни, является разделение жесткого диска на разные части. Физически может быть только один жесткий диск, однако система воспринимает его как два, три и более различных и отдельных сегментов. Такой же подход используется и с физическим сервером (хостом), когда на одном устройстве работают несколько виртуальных систем (виртуальных машин), несколько операционных систем и приложений [2]

Виртуальная машина (ВМ) — это полностью изолированный контейнер программного обеспечения, содержащий в себе операционную систему (ОС) и приложения. Каждая создаваемая ВМ является полностью независимой, которая в момент создания виртуализирует необходимое количество аппаратных ресурсов физического сервера.

Уровень программного обеспечения, позволяющий одновременную и параллельную работу нескольких ВМ, операционных систем на одном хосте, называется «гипервизор». Исследование, проведенное в Международном журнале научных и технологических исследований, определяет его как «программный уровень, который может контролировать и виртуализировать ресурсы хост-машины, предоставляя их в соответствии с требованиями пользователя». Наиболее распространенный гипервизор называется Гибридным (Тип 1+). Общаясь непосредственно с аппаратным обеспечением через служебную ОС, он виртуализирует аппаратную платформу, которая делает его доступным для использования гостевыми ОС. Существует также гипервизор на основе базовой ОС (Тип 2, V), который требует наличия операционной системы. Чаще всего его используют при тестировании программного обеспечения и лабораторных исследованиях. [4]

Сегодня виртуализация рассматривается в первую очередь как эффективный способ оп-

тимизации затрат предприятий любого размера на развитие и поддержку инфраструктуры, а также повышения эффективности использования серверов. В настоящей статье рассмотрен опыт построения виртуальной инфраструктуры предприятия, численностью пользователей до 1000 человек.

Преимущества виртуализации. Предоставляя огромный функционал и открывающиеся возможности при проведении виртуализации ИТ-инфраструктуры предприятия, главным аспектом остаётся экономическая оценка функций виртуализации.

Производимые расчеты TCO/ROI при создании виртуальной инфраструктуры предприятия с количеством пользователей до 1000 человек позволяют говорить о возврате инвестиций в течение трех-пяти лет. [4]

При этом удастся:

- сократить издержки на ввод в эксплуатацию новых систем и серверов на 50-70%, обслуживание задействованного оборудования и устранение зависимости операционной системы и предоставляемых сервисов от аппаратного обеспечения. За счёт того, что виртуальные машины никак не связаны с конкретным аппаратным обеспечением, при вводе нового оборудования в эксплуатацию исчезает потребность повторной установки и настройки программного обеспечения. Виртуальная машина копируется как файл на новый сервер и продолжает свою работу;

- уменьшить количество физических серверов и серверных стоек, упростить кабельную инфраструктуру компании в 6-10 раз. По статистике, сервера на предприятии загружены на 10-15% при выполнении возложенных на них задач без использования технологии виртуализации. Использование нескольких виртуальных серверов на одном физическом сервере позволяет увеличить его производительность в рабочие часы до 80%, сократив затраты на покупку нового аппаратного обеспечения;

- десятикратная экономия на энергопотреблении и теплоотводе серверов. Ежегодные расходы на электроэнергию и системы охлаждения серверной комнаты при использовании схемы 1 физический сервер = 1 операционная система становятся существенными за счёт большого парка аппаратного обеспечения. Объединение нескольких виртуальных серверов на одном физическом многократно уменьшит расходы на содержание и эксплуатацию;

– упростить процедуры резервного копирования, управления и мониторинга. Задача создания резервных копий виртуальных машин и последующего восстановления из резервной копии занимает намного меньше времени и является более простой процедурой. В случае выхода из строя физического оборудования виртуальный сервер может быть сразу запущен на другом физическом сервере;

– повысить надежность серверной инфраструктуры за счет использования кластеризации виртуальных машин (VMware HA, Microsoft Cluster Service, Citrix XenServer HA), что позволяет достигнуть в ряде случаев уровня доступности сервисов 99,5%. Два и более физических сервера, объединённых в одну группу образуют единый ресурс, называемый кластером серверов. При выходе из строя одного из физических серверов будет произведена «живая» миграция виртуальной машины и работа будет продолжена на другом физическом сервере;

– обеспечить динамическое распределение нагрузки по физическим серверам (VMware DRS, Microsoft SCVMM) [3].

Однако существует ряд систем, которые не стоит виртуализировать. Не стоит переносить на виртуальную платформу системы, использующие специфическое оборудование, которое не может функционировать в виртуальных системах [5].

Существуют также соображения лицензирования программного обеспечения, которые необходимо учитывать при создании виртуализированной среды. Компании должны обеспечить четкое понимание того, как их поставщики рассматривают использование программного обеспечения в виртуальной среде. Это становится менее ограничивающим фактором по мере того, как все больше поставщиков программного обеспечения приспособляются к более широкому использованию виртуализации [6].

Методика виртуализации инфраструктуры на предприятии предусматривает решение следующих задач.

Изначально определяются системы и сервисы, которые будут использоваться для работы большей частью пользователей предприятия, а именно:

1. Инфраструктурные сервисы. Представляют собой комплекс базовых приложений и информационных систем, обеспечивающих самые необходимые потребности предприятия. К ним относятся службы единого каталога (Microsoft

Active Directory), базовые сетевые службы (DNS, DHCP, FTP, WINS), системы управления печатью.

2. Службы хранения файловых ресурсов, позволяющие структурировать информацию организации с предоставлением необходимых доступов пользователям.

3. Система электронной почты. Одна из самых важных систем, которая должна быть постоянно доступна и работоспособна.

4. Система управления базами данных. Позволяет управлять и анализировать большие объёмы данных, а также обеспечивать работу важных для предприятия приложений [7].

Далее выделяются главные особенности любого предприятия, которые необходимо учитывать при создании виртуальной инфраструктуры.

1. Определение требований к информационным и вычислительным ресурсам. При этом требования могут очень сильно отличаться друг от друга – кому-то потребуются серьёзные вычислительные мощности (например, для работы с 3D-графикой и большими объёмами данных), а кому-то будет достаточно вычислительных мощностей для работы с почтовыми и офисными программами.

2. Определение наличия выделенной тестовой среды для запуска и тестирования специфического программного обеспечения, которое используется пользователями предприятия.

3. Определение правил использования виртуальных локальных сетей для повышения производительности в каждой из виртуальных сетей, а также изоляции сетей друг от друга для управления правами доступа пользователей [7].

Путем подбора вариантов виртуализации и их тестирования выбирается тот, который максимально удовлетворяет поставленным критериям.

ИТ-инфраструктура для предприятия. Рассмотрим конкретный пример предприятия, для которого будет использоваться применение методологии виртуализации. На этапе планирования инфраструктуры производятся:

- Анализ бизнес-процессов организации;
- Анализ доступных решений, технологий, продуктов и сделана оценка внедрения и эксплуатации;
- Расчёт и согласование бюджетов.

Результатом этапа планирования инфраструктуры является целевая архитектура, которая удовлетворяет потребностям предприятия по эффективности и экономическим показате-

лям. На рис. 1 представлен основной контур серверной инфраструктуры предприятия, на котором реализован метод виртуализации. Целевым продуктом для виртуализации инфраструктуры

выбран продукт VMware vSphere 7, однако данная методика применима для других средств виртуализации и в этом её преимущество.

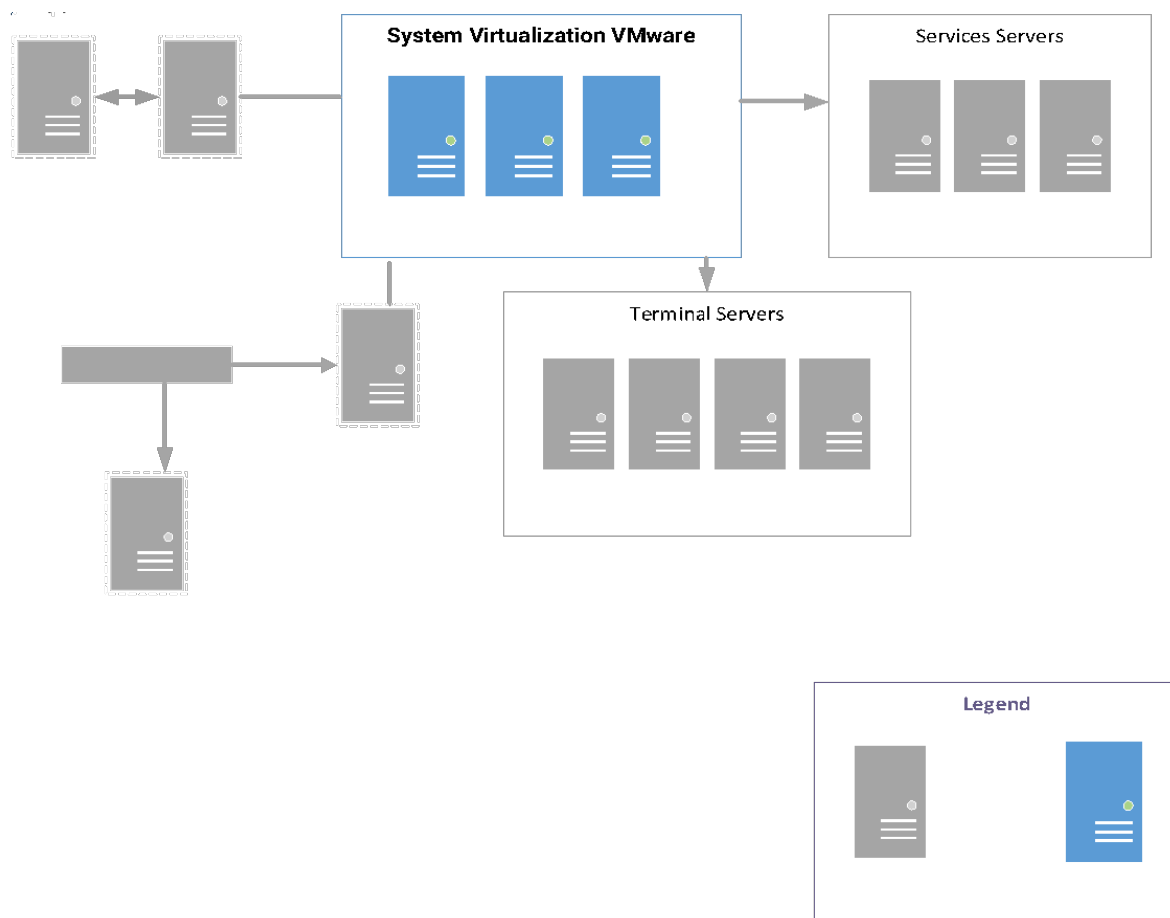


Рис. 1 – Концепция серверной инфраструктуры предприятия  
Fig. 1 - Enterprise server infrastructure concept

Использование платформы виртуализации VMware vSphere 7. VMware vSphere – одна из самых популярных платформ виртуализации во всём мире от компании VMware. vSphere управляет хаотичной инфраструктурой как единым целым, благодаря инструментам для администрирования. Основными компонентами vSphere являются ESXi и vCenter Server. Рассмотрим эти 2 компонента ниже, а также остальные инструменты, которые будут использованы для создания инфраструктуры.

– Гипервизор VMware ESXi – представляет собой гипервизор типа 1, который устанавливается напрямую на хост и не требует наличия ОС. Сам гипервизор отвечает за разделение ресурсов физического устройства на логические разделы.

– vCenter Server – это служба, с помощью

которой происходит управление парком хостов. Данная служба занимается распределением виртуальных машин по хостам, выделяет для них ресурсы, следит за производительностью и производит автоматизацию процессов. В свою очередь vCenter Server состоит из трёх основных компонентов:

1. vSphere Web Client – интерфейс в веб-браузере для удобного администрирования инфраструктурой;
  2. База данных vCenter Server – хранит в себе данные для работы службы;
  3. vCenter (Single Sign-On) – позволяет объединить доступ ко всей инфраструктуре с помощью единого входа [9].
- Общая структура, описанная выше, показана на рисунке 2.

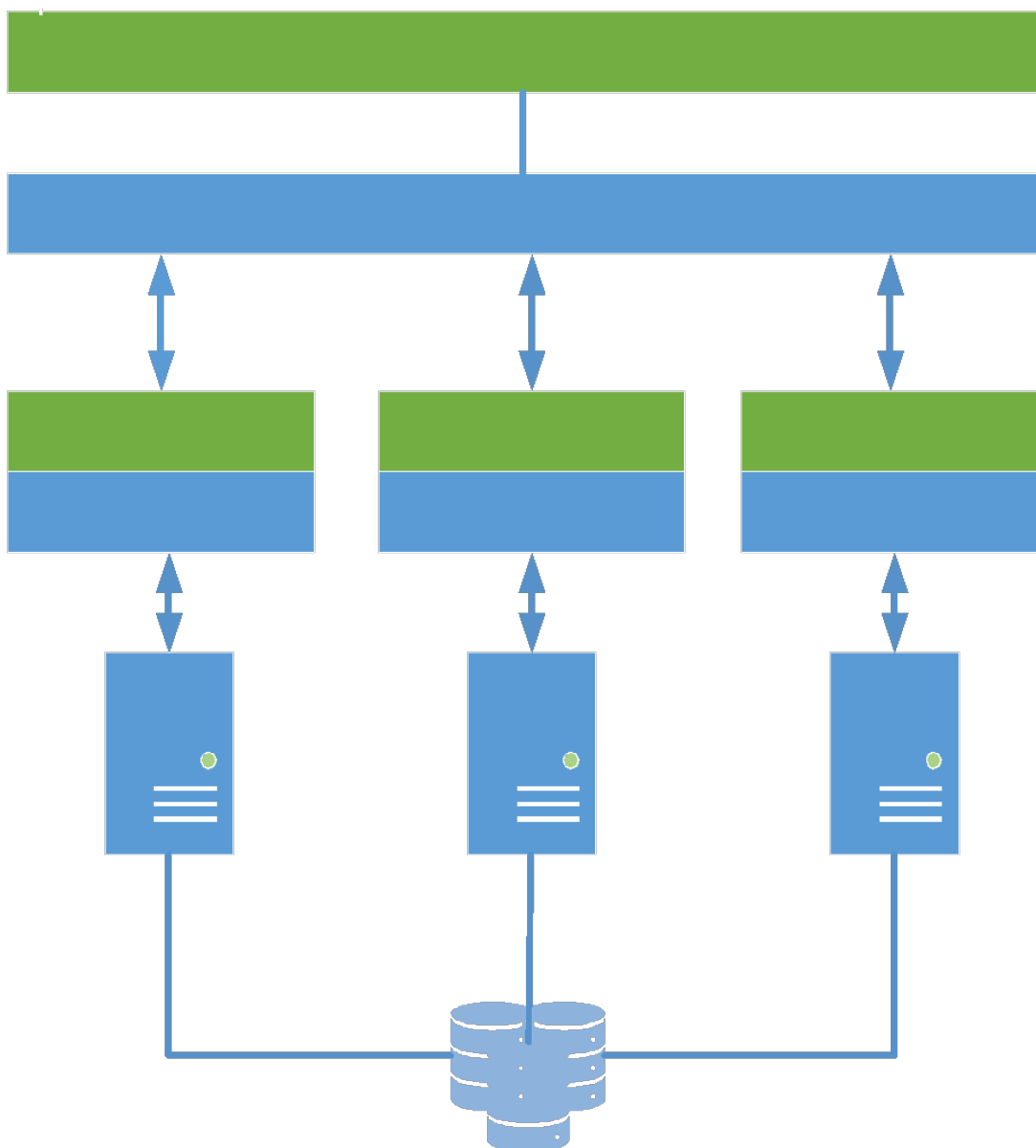


Рис. 2 – Архитектура VMware vSphere для предприятия  
 Fig. 2 – VMware vSphere architecture for the enterprise

– vSAN – решение для виртуализации хранилищ данных. Данное решение позволяет объединить физические устройства хранения в одну единую структуру, которая будет доступна для хостов в одном кластере, а также осуществлять перенос и балансировку рабочих нагрузок.

– vSphere Distributed Switch (vDS) – распределённый виртуальный свитч. Данная функция позволяет централизованно управлять сетевой инфраструктурой через vCenter внутри кластера.

– vSphere vMotion – функция, позволяющая производить перенос VM внутри кластера без прерывания работы.

– VMware vSphere High Availability (HA) –

функция, позволяющая переносить виртуальные машины между физическими хостами в случае сбоя.

– VMware vSphere Fault Tolerance (FT) – функция, позволяющая повысить уровень доступности в случае сбоя хоста. Функция HA позволяет также производить перенос VM в случае сбоя, однако на это потребуется какое-то время. При использовании Fault Tolerance, в случае сбоя хоста, работа будет восстановлена на втором хосте, где имеется «зеркальная» VM [8].

Основной причиной выбора продукта VMware vSphere для предприятий численностью до 1000 человек является наличие функции

vSphere Fault Tolerance. Принцип работы данной функции заключается в следующем. Создаётся защищённая виртуальная машина, которая называется основной виртуальной машиной. Дубликат виртуальной машины – вторичная виртуальная машина, создается и запускается на другом хосте. Первичная виртуальная машина непрерывно реплицируется на вторичную виртуальную машину, так что вторичная виртуальная машина может взять на себя управление в любой момент, обеспечивая тем самым отказоустойчивую защиту.

Первичная и вторичная виртуальные машины непрерывно контролируют состояние друг друга, чтобы обеспечить поддержание отказоустойчивости. В случае если хост, на котором запущена первичная виртуальная машина, выходит из строя, вторичная виртуальная машина немедленно активируется для замены первичной виртуальной машины. Автоматически начинается создание новой вторичной виртуальной машины, и резервирование отказоустойчивости восстанавливается автоматически. Если хост, на котором работает вторичная виртуальная машина, выходит из строя, он также немедленно заменяется. В любом случае пользователи не испытывают никаких перебоев в обслуживании и потери данных.

Следуя рекомендациям VMware по созданию отказоустойчивой инфраструктуры, создаваемая инфраструктура сконфигурирована по следующим стандартам.

Отказоустойчивая виртуальная машина и ее вторичная копия не могут работать на одном хосте. Это ограничение гарантирует, что отказ хоста не может привести к потере обеих виртуальных машин. Хосты, управляющие первичными и вторичными виртуальными машинами, должны работать примерно на одинаковых частотах процессора, в противном случае вторичная виртуальная машина может перезапускаться чаще. Функции управления питанием платформы, которые не корректируются в зависимости от рабочей нагрузки (например, ограничение мощности и принудительные низкочастотные режимы для экономии энергии), могут привести к значительному изменению частоты процессора.

Использование хранилища vSAN обеспечивает высокую скорость обмена данными и их максимальную сохранность. FT-машины будут храниться на общем хранилище. Поддерживаются хранилища FC / iSCSI / NFS [8].

При настройке vDS соблюдаются следующие требования:

– Все настройки виртуальных коммутато-

ров, куда подключены VM должны быть унифицированы;

– Для передачи данных между хостами стоит использовать канал с пропускной способностью минимум 1Гбит. Лучшая практика - использовать от 10Гбит NICs;

– Настройки VMware vSwitch на хостах должны быть единообразными, например, использовать один и тот же VLAN для ведения журнала VMware FT, чтобы сделать эти хосты доступными для размещения вторичных виртуальных машин [9].

Таким образом, при фатальном отказе одного из хостов, виртуальная инфраструктура обеспечит непрерывность рабочего процесса и предприятие не понесёт убытков.

**Сравнение продукта VMware с другими гипервизорами.** Гипервизор ESXi от VMware конкурирует с рядом других гипервизоров, сравнительный анализ которых будет произведён ниже.

VMware ESXi и Hyper-V. Hyper-V – гипервизор компании Microsoft, позволяющий создавать виртуальную среду с помощью технологии виртуализации, входящую в состав Windows Server. ESXi и Hyper-V являются двумя наиболее часто используемыми решениями в проектах виртуализации. Оба решения являются гипервизорами типа 1 и работают непосредственно на аппаратном обеспечении.

С момента запуска Windows Server 2016 гипервизор Hyper-V очень похож на гипервизор ESXi, однако у этих продуктов есть различия. Основные различия лежат в плоскости поддержки и работы с операционными системами, методе хранения данных на виртуальных жёстких дисках, предоставлении возможностей в конфигурации виртуальных машин и лицензировании [14].

VMware ESXi и KVM. KVM – Open Source гипервизор использующий ядро Linux с предоставлением ядру возможности виртуализации и управления гипервизором. Основные различия в данных продуктах лежат в стоимости, производительности и функционале. Поскольку KVM – это бесплатный продукт, последнее из приведённых различий играет не в пользу KVM из-за отсутствия более развитых средств управления и менее стабильной работы для задач с активным вводом-выводом (I/O) [8].

**Заключение.** В статье была рассмотрена методика виртуализации вычислительных ресурсов для применения в системах виртуализации на предприятии численностью до 1000 пользователей. В основе методики лежит технология

VMware vSphere, которая позволяет обеспечить максимальную отказоустойчивость критически-важных виртуальных серверов, отвечающих за бесперебойную работу всего предприятия.

Предложенная в статье методика полно-

стью решает все поставленные перед ней задачи, позволяя создать максимально гибкую и динамичную виртуальную инфраструктуру, которая удовлетворяет всем параметрам производительности и отказоустойчивости.

## Список литературы

1. Гаврилов, Л. П. Инновационные технологии в коммерции и бизнесе: учебник для бакалавров / Л. П. Гаврилов. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 372 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-2452-7. — Текст: электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/425884> (дата обращения: 28.03.2021).
2. Гусева, А.И. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: Учебник / А.И. Гусева. - М.: Академия, 2020. - 336 с.
3. Емельянов, С.В. Информационные технологии и вычислительные системы / С.В. Емельянов. - М.: Ленанд, 2020. - 96 с.
4. Замятина, О.М. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. моделирование сетей.: Учебное пособие для магистратуры / О.М. Замятина. - Люберцы: Юрайт, 2020. - 159 с.
5. Информационные технологии и вычислительные системы: Обработка информации и анализ данных. Программная инженерия. Математическое моделирование. Прикладные аспекты информатики / Под ред. С.В. Емельянова. - М.: Ленанд, 2020. - 104 с.
6. Мелехин, В.Ф. Вычислительные машины, системы и сети / В.Ф. Мелехин. - М.: Academia, 2020. - 304 с.
7. Митропольский, Ю.И. Мультиархитектурные вычислительные суперсистемы. Перспективы развития / Ю.И. Митропольский. - М.: Техносфера, 2020. - 146 с.
8. Mike Brown, Hersey Cartwright. 10. VMware vSphere 6.7 Data Center Design Cookbook / Mike Brown, Hersey Cartwright // 10. VMware vSphere 6.7 Data Center Design Cookbook [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.packtpub.com/product/vmware-vsphere-6-7-data-center-design-cookbook-third-edition/9781789801514> – Дата доступа: 09.04.2021.
9. Mike Brown, Hersey Cartwright, Martin Gavanda, Andrea Mauro, Karel Novak, Paolo Valsecchi. The Complete VMware vSphere Guide/ Mike Brown, Hersey Cartwright, Martin Gavanda, Andrea Mauro, Karel Novak, Paolo Valsecchi// The Complete VMware vSphere Guide [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: [https://books.google.by/books/about/The\\_Complete\\_VMware\\_vSphere\\_Guide.html?id=pVjBDwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.by/books/about/The_Complete_VMware_vSphere_Guide.html?id=pVjBDwAAQBAJ&redir_esc=y) – Дата доступа: 09.04.2021.

## References

1. Gavrilov L. P. Innovative technologies in commerce and business: textbook for bachelors / L. P. Gavrilov. - Moscow: Publishing house Yurait, 2019. - 372 P. - (Bachelor's and Master's degrees. Academic course). - ISBN 978-5-9916-2452-7. - Text: electronic // EBS Yurite [website]. - URL: <https://urait.ru/bcode/425884> (date of reference: 28.03.2021). (In Russian)
2. Guseva, A.I. Computer systems, networks and telecommunications: Textbook / A.I. Guseva. - Moscow: Academy, 2020. - 336 P. (In Russian)
3. Emelyanov, S.V. Information technologies and computer systems / S.V. Emelyanov. - Moscow: Lenand, 2020. - 96 P. (In Russian)
4. Zamyatina, O.M. Computing systems, networks and telecommunications: Textbook for Master's degree / O.M. Zamyatina. - Lyubertsy: Yurait, 2020. - 159 P. (In Russian)
5. Information Technology and Computer Systems: Information Processing and Data Analysis. Software Engineering. Mathematical modelling. Applied aspects of computer science / Edited by S.V. Emelyanov. - Moscow: Lenand, 2020. - 104 P. (In Russian)
6. Melekhin, V.F. Computers, systems and networks / V.F. Melekhin. - M.: Academia, 2020. - 304 P. (In Russian)
7. Mitropolsky, Y.I. Multi-architecture computing super-systems. Prospects of development / Yu.I. Mitropolsky. - Moscow: Technosphere, 2020. - 146 P. (In Russian)
8. Mike Brown, Hersey Cartwright. 10. VMware vSphere 6.7 Data Center Design Cookbook / Mike Brown, Hersey Cartwright // 10. VMware vSphere 6.7 Data Center Design Cookbook [Electronic resource]. – 2019. – Resources Management: <https://www.packtpub.com/product/vmware-vsphere-6-7-data-center-design-cookbook-third-edition/9781789801514> – Accessed: 09.04.2021. (In English)
9. Mike Brown, Hersey Cartwright, Martin Gavanda, Andrea Mauro, Karel Novak, Paolo Valsecchi. The Complete VMware vSphere Guide/ Mike Brown, Hersey Cartwright, Martin Gavanda, Andrea Mauro, Karel Novak, Paolo Valsecchi// The Complete VMware vSphere Guide [Electronic resource]. – 2019. – Resources Management: [https://books.google.by/books/about/The\\_Complete\\_VMware\\_vSphere\\_Guide.html?id=pVjBDwAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.by/books/about/The_Complete_VMware_vSphere_Guide.html?id=pVjBDwAAQBAJ&redir_esc=y) – Accessed: 09.04.2021. (In English)

Received: 14.04.2021

Поступила: 14.04.2021

## Программное обеспечение и возможности современных языков программирования для изучения биоинформатики и вычислительной вакцинологии новой коронавирусной инфекции

**М. В. Спринджук**, к. т. н., старший научный сотрудник лаборатории математической кибернетики

E-mail: [stepanenkomatvei@yandex.ru](mailto:stepanenkomatvei@yandex.ru)

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,  
ул. Сурганова, д. 6, 220012, г. Минск, Республика Беларусь

**А. С. Владыко**, д. м. н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории биотехнологии и иммунодиагностики ООИ РНПЦ эпидемиологии и микробиологии РНПЦ эпидемиологии и микробиологии,  
ул. Филимонова, д. 23, 220114, г. Минск, Республика Беларусь

**Л. П. Титов**, д. м. н., профессор, член – корреспондент НАН Беларуси, заведующий лабораторией клинической и экспериментальной микробиологии РНПЦ эпидемиологии и микробиологии

РНПЦ эпидемиологии и микробиологии, ул. Филимонова, д. 23, 220114,  
г. Минск, Республика Беларусь

**А. П. Кончиц**, к. б. н., ведущий научный сотрудник лаборатории лесной селекции и семеноводства

E-mail: [konchits@yandex.ru](mailto:konchits@yandex.ru)

Институт леса НАН Беларуси, ул. Пролетарская, д. 71, 246001,  
г. Гомель, Республика Беларусь

**Аннотация.** Обзорная статья сосредоточена на вопросах применения программного обеспечения для целей геномики, иммуноинформатики, вычислительной вакцинологии, математической эпидемиологии и филогенеза новой коронавирусной инфекции. Приводится разработанная авторами классификация программного обеспечения для изучения COVID-19.

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

**Для цитирования:** Спринджук, М. В. Программное обеспечение и возможности современных языков программирования для изучения биоинформатики и вычислительной вакцинологии новой коронавирусной инфекции / М. В. Спринджук, А. С. Владыко, Л. П. Титов, А. П. Кончиц // Цифровая трансформация. – 2021. – № 3 (16). – С. 47–57.



© Цифровая трансформация, 2021

## Software and Resources of Modern Programming Languages for Bioinformatics and Computational Vaccinology Research of the New Coronavirus Infection

**M. V. Sprindzuk**, TechSciPhD, Senior Researcher, laboratory of mathematical Cybernetics

E-mail: [stepanenkomatvei@yandex.ru](mailto:stepanenkomatvei@yandex.ru)

United Institute for Informatics Problems of the NAS of Belarus,  
Surganova Str, 6, 220012 Minsk, Republic of Belarus

**A.S. Vladyko**, Doctor of Sciences (Medical), Professor, chief researcher of the biotechnology and immunodiagnosis laboratory RRPC for Epidemiology and Microbiology, Republic of Belarus,  
Filimonova Str., 23, 220114 Minsk, Republic of Belarus

**L. P. Titov**, Doctor of Sciences (Medical), Professor, Corresponding Member of the NAS of Belarus, Head of the Laboratory for Clinical and Experimental Microbiology

RRPC for Epidemiology and Microbiology, Republic of Belarus,  
Filimonova Str., 23, 220114 Minsk, Republic of Belarus

**A. P. Konchits**, BioSciPhD Leading Researcher, Forest Tree Breeding and Seed Production Laboratory

E-mail: konchits@yandex.ru

Forest Research Institute of the NAS of Belarus, 71 Proletarskaya Str.,  
246001 Gomel, Republic of Belarus

**Abstract.** The review paper focuses on the application of software for the purposes of genomics, immunoinformatics, computational vaccinology, mathematical epidemiology and phylogeny of the new coronavirus infection. Authors provide a classification of software for the investigation of COVID-19.

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

**For citation:** Sprindzuk, M. V., Vladyko A.S., Titov L. P., Konchits A. P. Software and resources of modern programming languages for bioinformatics and computational vaccinology research of the new coronavirus infection. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 3 (16), pp. 47–57 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение: актуальность и значение COVID-19 инфекции.** По данным [www.worldometers.info/coronavirus](http://www.worldometers.info/coronavirus), на 4 марта 2021 года (6.30, среднее время по Гринвичу) в мире от новой коронавирусной инфекции погибло 2 571 794 человек, из них 531 652 в США, 259 402 в Бразилии, 87 348 в России, 71 711 в Германии, 44 360 в Польше, 3 281 в Литве, и 2002 в Беларуси.

Ущерб COVID-19 (Coronavirus disease 2019, коронавирусная болезнь 2019) для мировой экономики огромен, расходы и потери продолжают.

Основным природным резервуаром инфекции, по-видимому, являются подковоносные рукокрылые (летучие мыши) и панголины (рисунок 1).

По теме COVID-19 в онлайн базе данных На-



Рисунок 1. Панголин – один из предполагаемых природных резервуаров SARS– CoV–2 инфекции  
Figure 1. Pangolin is one of the suspected natural reservoirs of SARS-CoV-2 infection



ционального института здоровья США ([www.ncbi.nlm.nih.gov/research/coronavirus](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/research/coronavirus)) доступно 104 872 научных публикаций, и их число каждый день растет.

Разработка эффективной вакцины и новых лекарственных средств для профилактики и лечения инфекции, ассоциированной с новым SARS-CoV-2 (тяжелый острый респираторный синдром, ТОРС) коронавирусом, представляется неотложной актуальной проблемой.

Более 200 вакцин проходят в настоящее время лабораторные и клинические испытания (<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/covid-19-vaccines>).

В Беларуси вакцины (кроме антибактериальных) ранее не разрабатывались. Для изучения проблемы медицинской кибернетики и геномики новой коронавирусной инфекции нами был выполнен сбор и анализ литературы по следующим базам данных:

- 1) Google scholar (<https://scholar.google.ru/>);
- 2) EBSCO (<https://www.ebsco.com/>);
- 3) КиберЛенинка (<https://cyberleninka.ru/>);
- 4) Scielo (<https://scielo.org/>);
- 5) PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>);
- 6) Google patents (<https://patents.google.com/>);
- 7) IEEE explore (<https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>);
- 8) BioRxiv (<https://www.biorxiv.org/>);
- 9) Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat (<https://www.dissercat.com/>);
- 10) Электронный каталог Национальной библиотеки Беларуси, <https://e-catalog.nlb.by/>;
- 11) Каталог патентов и изобретений СНГ и Евразии <https://fips.ru/iiss/>;
- 12) Каталог европейских диссертаций <https://oatd.org/>.

Помимо названных веб-серверов для поиска и отбора литературы были использованы технические средства программного обеспечения EndNote, RefNavigator, Mendeley, JabRef.

Как источники наиболее полезной информации, обращают на себя внимание четыре книги по теме современной иммуноинформатики [1,2,3], 1 книга по биоинформатике для вакцинологии [4], 3 монографии по COVID-19 инфекции [5,6,7], учебник [8] и 6 монографий по вакцинологии и генетике коронавирусов [9,10,11,12,13,14], 2 статьи-обзора, затрагивающих вопросы иммуноинформатики [15] и идентификации эпитопов [16] из геномов [17] новой патогенной для человека коронавирусной инфекции, 4 научных статьи, сообщающих об опыте вычисления [18,19] и in

vivo апробирования эпитопов [20,21] из коронавирусных геномов.

Из русскоязычных источников, обратили на себя внимание статьи [22,23,24,25,26,27] и диссертация [28].

**Векторные и эпитопные вакцины.** Изучение накопленной литературы показывает, что векторные вакцины — это одно из предполагаемых средств профилактики особо опасных вирусных заболеваний. Накоплен неоднозначный мировой опыт разработки вакцин такого типа для вирусов Эболы, Зика, MERS (Ближневосточный респираторный синдром (БВРС, англ. Middle East respiratory syndrome), SARS и опубликован ряд исследований по новой теме SARS-CoV-2 вакцины, в том числе на основе аденовирусного вектора.

Векторные вакцины относят к рекомбинантным вакцинам, которые получают генно-инженерными методами. В качестве векторов используют живые аттенуированные (ослабленные) вирусы, бактерии, дрожжи или эукариотические клетки, в которые встраивают ген, кодирующий образование предполагаемого протективного антигена возбудителя, стимулирующего в организме образование защитных антител. В качестве носителя бактериального вектора используют БЦЖ (сокр. от Бацилла Кальмёта-Герёна, фр. Bacillus Calmette-Guérin, BCG), Vibrio cholera, Salmonella typhimurium, Escherichia coli. Преимущество бактериальных векторных вакцин перед вирусными заключается в возможности контролировать их с помощью антибиотиков. В качестве носителей вирусных векторов используют вирусы осповакцины, бакуловирусы, аттенуированные аденовирусы. Преимущество в использовании вирусов в качестве вектора — более длительная персистенция вирусов в организме по сравнению с бактериями.

Общепринятым условием и утверждением является то, что эффективная антивирусная вакцина должна индуцировать высокие титры нейтрализующих антител, чтобы предотвратить прикрепление вируса к рецепторам клетки-хозяина. Однако для получения защитных уровней антител при вакцинации может потребоваться несколько доз или помощь со стороны других иммуностимулирующих молекул. Кроме того, вакцина должна способствовать выработке защитных уровней антител при наименьшем количестве используемого антигена. Это снижает стоимость вакцины и делает ее более доступной. Включение адъюванта может позволить значительно сократить количество антигена в вакцине [22].

### **Преимущества и недостатки пептидных вакцин.**

Преимущества пептидных (эпитопных вакцин):

1) стоимость разработки меньше, чем полновирионных инактивированных и аттенуированных вакцин;

2) меньше риски анафилаксии, аллергенности, и других побочных эффектов (нарколепсии, бронхиальной астмы, аутоиммунных заболеваний и рассеянного склероза);

3) лучше стабильность и устойчивость растворов и транспортабельность субстанции и препарата вакцины.

Недостатки пептидных вакцин:

1) относительно низкая иммуногенность, что можно компенсировать добавлением так называемых адъювантов: наночастиц и хитозана;

2) отмечается подверженность к ферментативному распаду.

Обобщая информацию из доступной литературы можно классифицировать эпитопы, входящие в состав вакцины следующим образом:

1) линейные (последовательности геномного текста аминокислот) и конформационные (3D модели);

2) по мишени сродства и связывания: а) Т- лимфоцитов (CD4+ и CD8+), представляющих клеточный иммунитет; б) В- лимфоцитов, эффекторов гуморального иммунитета; в) - интерферонов, противовирусных белков.

Методология построения пептидных вакцин имеет свою определенную последовательность: просеквенированный геном подвергается предобработке, анализу, аннотированию и трансляции нуклеотидных последовательностей в аминокислотные. Затем отобранные кандидатные гены вируса анализируются на предмет антигенного потенциала, другими словами, иммуногенности, а также оценивается потенциал их эффективности и безвредности для организма-реципиента вакцины.

**Изучение и анализ программного обеспечения и возможностей языков программирования для целей анализа геномов COVID- 19.** За последние десять лет, с момента распространения эпидемий SARS (тяжёлый острый респираторный синдром, ТОРС), MERS и особенно пандемии SARS-CoV-2, отмечается подъем интереса исследователей к проблемам геномики возбудителей этих инфекций, что сопровождается ростом разработки программного обеспечения для биоинформатики и иммуноинформатики, без которых невозможен углубленный анализ краткосрочной и долговременной эволюции вирусов, молекул иммунной системы в целях иммунодиагностики и иммунопрофи-

лактики. Постоянно обновляемый список доступного программного обеспечения можно найти в источнике [https://www.denbi.de/covid- 19/coronavirus- tools].

**Классификация программного обеспечения для изучения новой коронавирусной инфекции.** Ключевые статьи, в которых наиболее полноценно и детально рассматривается программное обеспечение для многостороннего изучения патогена SARS-CoV-2 – это источники [29,30,31].

Такое программное обеспечение можно классифицировать следующим образом:

1) полностью бесплатные для пользователей веб-серверы для различных задач анализа нуклеотидных последовательностей [https://www.ebi.ac.uk/Tools/emboss/] (см. рисунки 2, 3);

2) бесплатные многоцелевые веб-порталы, специфически разработанные по теме COVID-19 (Coronavirus disease 2019, коронавирусная болезнь 2019) [https://hdsu- bioquant.shinyapps.io/marpycorona/];

3) многоцелевые и кастомизированные облачные серверы с веб-интерфейсом и интерфейсом прикладного программирования на основе конвейерных технологий анализа биоинформационных данных [https://aries.iss.it/];

4) настольные (десктоп) приложения для специализированных задач биоинформатики [http://darlinglab.org/mauve/download.html];

5) пакеты - модули современных скриптовых языков программирования;

6) контейнеризированные программные приложения и их ансамбли для быстрого и надежного развертывания на разных операционных системах;

7) низко- и высокоуровневые библиотеки компилируемых и интерпретируемых языков программирования для разработки программных комплексов;

8) коммерческое программное обеспечение (полностью или частично), которое может иметь веб или настольный интерфейс или интерфейс прикладного программирования посредством ресурсов скриптового языка программирования [https://www.biobam.com/download-omicsbox/].

Биоинформационные задачи, которые возможно решать с помощью программного обеспечения:

1) интерактивный трекинг эпидемиологических данных COVID-19 распространения;

2) математическое моделирование COVID-19 распространения и передачи инфекции;

3) поиск, отбор и загрузка файлов геномов и других данных;

4) тримминг и устранение ошибок в геномных

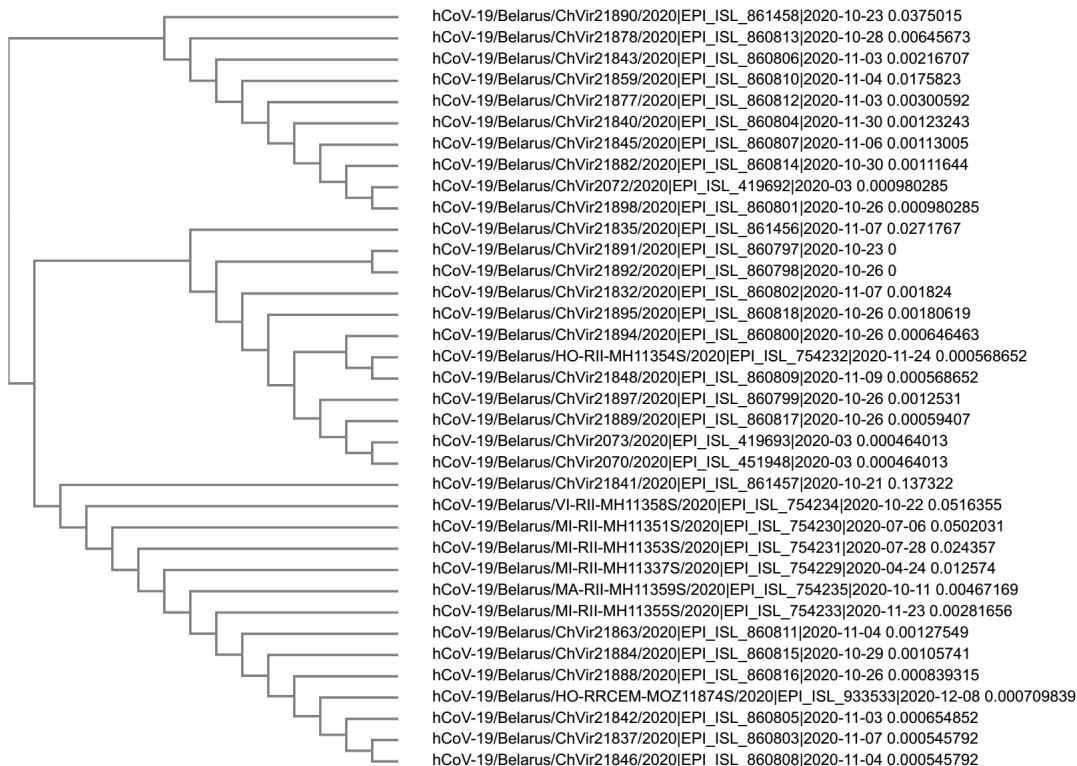


Рисунок 2. Clustal Omega кладограмма 36 образцов геномов SARS-CoV-2 от пациентов в Беларуси  
Figure 2. Clustal Omega cladogram of 36 SARS-CoV-2 genome samples from patients in Belarus

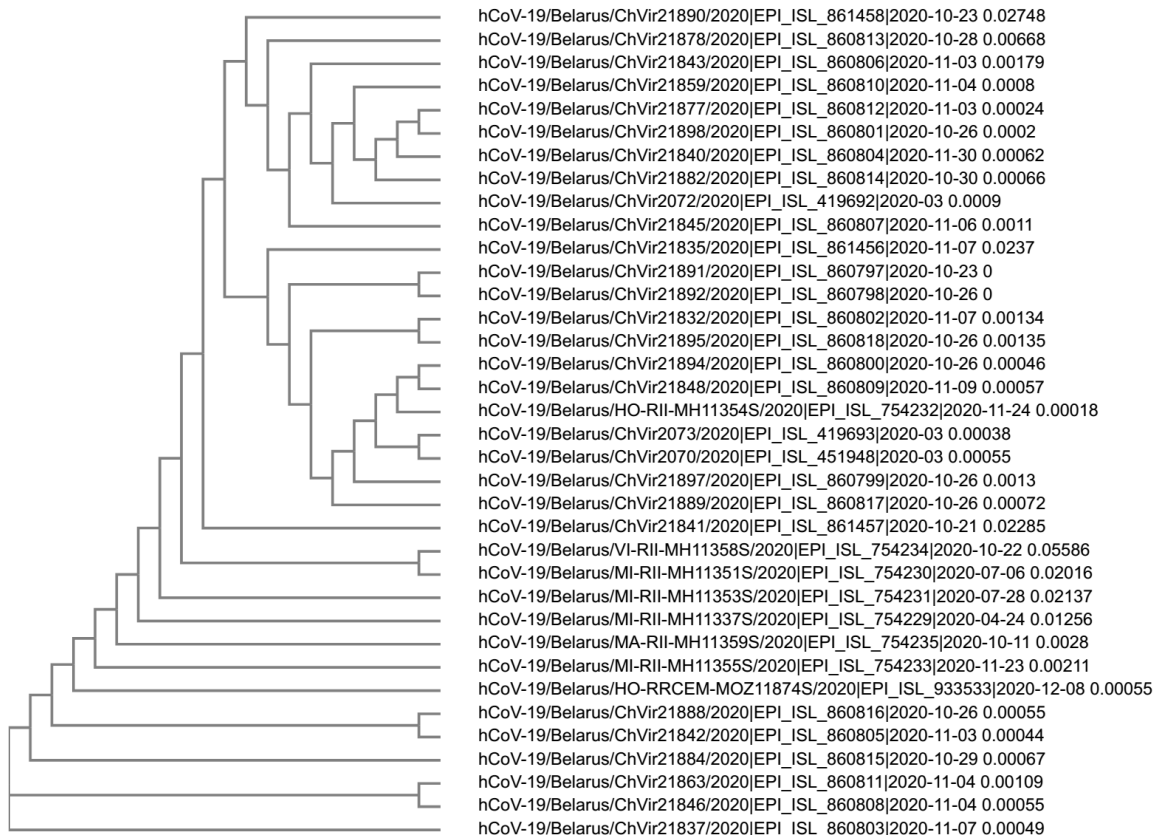


Рисунок 3. Кладограмма 36 образцов геномов SARS- CoV-2 от пациентов в Беларуси, алгоритм дерева, объединяющего соседние элементы без коррекции расстояний  
Figure 3. Cladogram of 36 SARS- CoV-2 genome samples from patients in Belarus, tree algorithm combining neighboring elements without distance correction

- текстах;
- 5) одиночное и множественное выравнивание геномов на ссылочные геномы и между собой, получение мутационных профилей и аннотирование генов;
  - 6) поиск и визуализация схожести геномных текстов;
  - 7) распознавание и классификация геномов с помощью методологии современного искусственного интеллекта;
  - 8) де ново сборка геномов из длинных и коротких прочтений, гибридная сборка и сборка с использованием ссылочных геномов и дополнительных геномов с целью деконтаминации данных;
  - 9) эволюционный анализ групп геномов с визуализацией в виде кладограмм и кластерограмм;
  - 10) идентификация участков генома или транскриптома максимальной предполагаемой иммуногенности;
  - 11) *in silico* анализ аллергенности и токсигенности пептидов;
  - 12) *in silico* анализ предполагаемой локализации пептида;
  - 13) *in silico* анализ предполагаемых физических и химических свойств пептида;
  - 14) структурное и функциональное аннотиро-

- 15) прогноз белок-белковых взаимодействий, в том числе искусственного пептида и рецепторов клеток человека;
- 16) вычисление и прогнозирование биофизических свойств возможных адъювантов и линкеров (связующих элементов) вакцины;
- 17) организация, представление и визуализация элементов вакцины, собранных воедино.

**Программное обеспечение для специфических целей иммуноинформатики и вычислительной биологии.** Обзорные статьи, в которых фокус исследования сосредоточен на рассмотрении функциональных возможностей вычислительных инструментов для целей иммуноинформатики, вакцинологии COVID-19 – это источники литературы [16,32,33].

Китайской стороной было рекомендовано использовать программный комплекс Vaxign [34,35,36] как наиболее проверенный опытом разработки анти-вирусных вакцин.

Среди множества доступного программного обеспечения, согласно данным современной литературы, для вычисления антигенных детерминат по данным геномов вирусов рекомендовано использовать следующее программное обеспечение:

- International A\_B Diversity —
- B.1.1.7\_501Y.V1\_20I —
- B.1.351\_501Y.V2\_20H —
- P1\_501Y.V3\_20J —
- Y453F.Cluster5\_20B —
- B.1.1.70\_501Y\_20B —

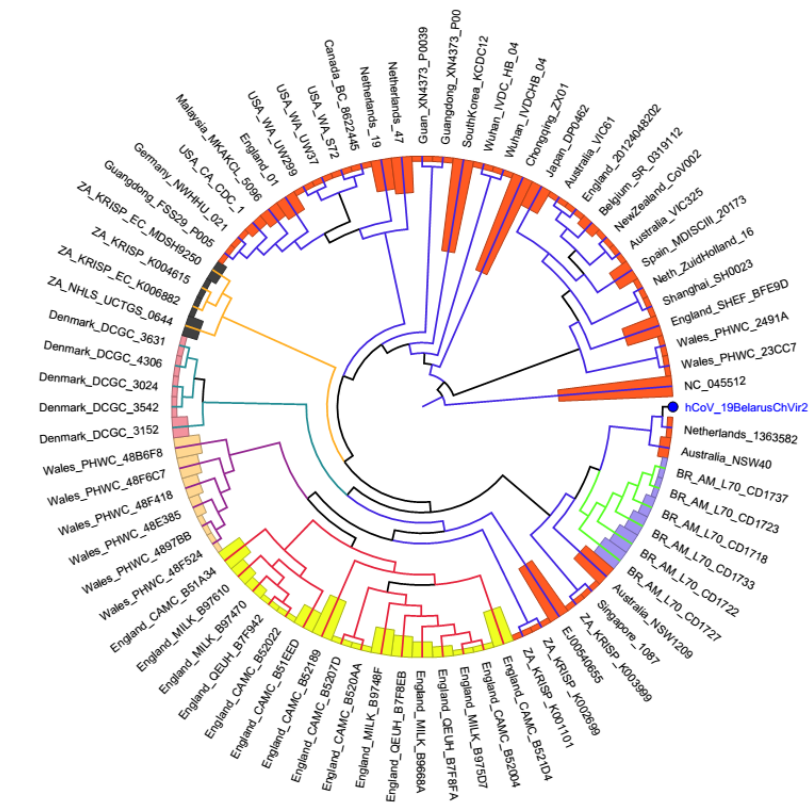


Рисунок 4. Циркулярная филограмма (синим обозначен один из первых образцов генома COVID-19 от пациента в Беларуси)  
Figure 4. Circular phylogram (blue indicates one of the first COVID-19 genome samples from a patient in Belarus)

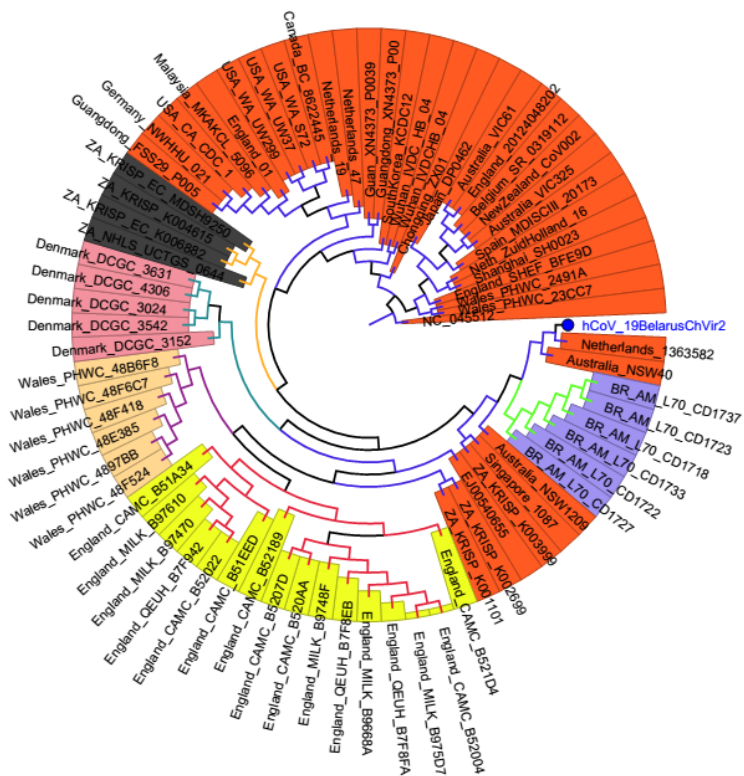


Рисунок 5. Расширенная циркулярная филограмма  
 Figure 5. Extended circular phylogram

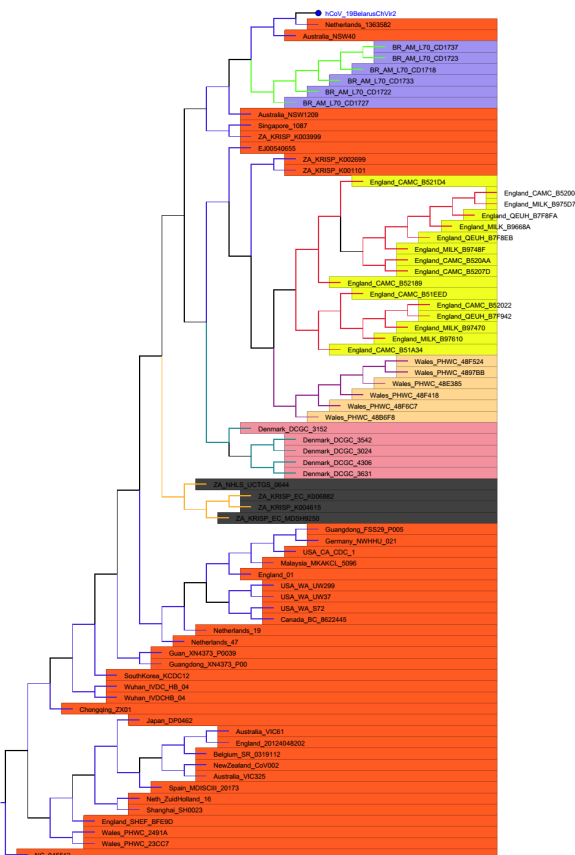


Рисунок 6. Прямоугольное представление филограммы  
 Figure 6. Rectangular phylogram representation

1) веб-сервер IEDB (The Immune Epitope Database) с его инструментами для вычисления эпитопов и их необходимых характеристик [37];

2) компьютерная программа VCPred [38];

3) Prokka [39], EggNog [40], Interproscan [41,42,43,44] для аннотирования контигов;

4) Mafft [45,46,47,48], ClustalW [49,50,51,52], Mauve [53,54], Mugsy [55] для множественного выравнивания;

5) Genome detective (см. рисунки 4–6) [56,57] для идентификации мутационного профиля, визуализации филогенеза и изучения эволюции коронавируса

6) ToxinPred [58,59] для проверки токсичности синтетических пептидов [http://crdd.osdd.net/raghava/toxinpred/] и AllergCatPro [60,61], AlgPred [62,63,64,65], AllergenFP [https://ddg-pharmfac.net/AllergenFP/] для оценки аллергенности пептидов;

7) VaxiJen [http://www.ddg-pharmfac.net/vaxijen/VaxiJen/VaxiJen.html] для оценки антигенности эпитопов;

8) веб-серверы для изучения докинга с рецепторами клеток реципиента вакцины [66];

9) веб-сервера [https://www.ibi.vu.nl/programs/linkerdbwww/] и программы [67] для изучения выбора линкеров вакцины и оптимизации ее структуры [68,69,70];

10) настольные программные приложения для визуального представления компонентов вакцины [https://www.snapgene.com/], собранных в единую систему, и веб-серверы для представления вторичной и третичной структуры вакцины [71].

Объектно-ориентированное, функциональное и процедурное программирование для вычислительной вирусологии

Среди множества современных языков объектно-ориентированного программирования на практике специалиста-биоинформатика чаще всего применяются языки Питон, R и Shell.

Язык программирования Питон за последние десять лет стал популярнее, чем Перл, Руби и МатЛаб, и является основным средством анализа научных данных не только в областях биоинформатики и геномики.

Язык программирования R не так универсален, как Питон, но представляет разработчику значитель-

ный набор пакетов-модулей специфически разработанных для анализа данных и статистических вычислений. Тем не менее, его синтаксис, безусловно, сложнее, чем у Питона, объем документации каждого модуля велик, и программировать им весьма трудно.

Для целей иммуноинформатики Питон предлагает следующие модули:

1) epitopepredict [https://github.com/dmfarrell/epitopepredict], функции для вычисления эпитопов;

2) epitopes [https://pypi.org/project/epitopes/]: интерфейс Python для IEDB и других данных иммунных эпитопов;

3) EpiDope [72]: глубокая нейронная сеть для предсказания линейных В-клеточных эпитопов.

Для вычислительной вакцинологии в языке R имеются следующие модули:

1) EpitopePrediction [http://johannes-textor.name/R/epitope-prediction-using-r.html] для вычисления Т-эпитопов;

2) bbeaR [73]: пакет R с набором функций для профилирования эпитоп-специфических антител;

3) Repitope: прогнозирование иммуногенности эпитопа посредством *in silico* профилирования потенциала взаимодействия TCR-пептида (белка, связывающего Т-клеточный рецептор) [74].

Другие языки программирования, такие как Руби, Яваскрипт, PHP, C#, Java, C++ тоже применяются в геномике, но больше для веб-программирования или для реализации математических алгоритмов (компилируемые, более низкоуровневые языки, такие как C/C++).

Язык Shell необходим для практической биоинформатики для Unix операционных систем, таких как Linux и MacOS.

Как и язык R, Shell можно вызывать из интерфейса Питона, Java или C++, PHP.

Знание языка Shell также необходимо для запуска контейнеров Docker [75,76] и Singularity [77], а также для написания кодов конвейерной обработки данных с применением популярной библиотеки параллельных вычислений GNU Parallel [78] и ряда аналогичных.

Исследование выполнено при поддержке фонда БРФФИ.

Проект: «Разработка и скрининг мукозной вакцины против COVID-19 на основе векторной платформы кишечного аденовируса»

## References

1. Tomar, Marton. Immunoinformatics. – P [S.I.]: Springer US, 2020. – 409 p.
2. De, R.K., Tomar, N. Immunoinformatics. – New York: Humana Press, 2014. – P xix, 586 pages.
3. Schönbach, C., Ranganathan, S., Brusica, V. Immunoinformatics. – New York: Springer, 2008. – xix, 200 p.
4. Flower, D.R. Bioinformatics for vaccinology. – Chichester, West Sussex, England; Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008. – 314 p.
5. Prabhakar, H., Kapoor, I., Mahajan, C. Clinical synopsis of COVID-19: evolving and challenging. – 1 online resource (XIV, 260 pages).
6. Chandra, P., Roy, S. Diagnostic strategies for COVID-19 and other coronaviruses. – Singapore: Springer, 2020. – 1 online resource (viii, 199 pages).
7. Saxena, S.K. Coronavirus disease 2019 (COVID-19): epidemiology, pathogenesis, diagnosis, and therapeutics. – 1 online resource (224 pages).
8. Plotkin, S.A., Orenstein, W.A., Offit, P.A. Plotkin's vaccines. – Philadelphia, PA: Elsevier, 2018. – xxi, 1691 pages.
9. Enjuanes, L. Coronavirus replication and reverse genetics. – Berlin; New York: Springer, 2005. – vii, 257 p.
10. Varshney, D., Singh, M., SpringerLink (Online service). Lyophilized Biologics and Vaccines Modality – Based Approaches. – New York, NY: Springer New York: Imprint: Springer, 2015. – XI, 401 p. 99 illus., 68 illus. in color.
11. Nunnally, B.K., Turula, V.E., Sitrin, R.D., SpringerLink (Online service). Vaccine Analysis: Strategies, Principles, and Control. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg: Imprint: Springer, 2015. – XII, 665 p. 124 illus., 76 illus. in color.
12. Maier, H.J., Bickerton, E., Britton, P. Coronaviruses methods and protocols. – New York: Humana Press; Springer, 2015. – xi, 285 pages.
13. Kiyono, H., Ogra, P.L., McGhee, J.R. Mucosal vaccines. – San Diego: Academic Press, 1996. – xix, 479 p.
14. Vanniasinkam, T., Tikoo, S.K., Samal, S.K. Viral vectors in veterinary vaccine development: a textbook. – Cham, Switzerland: Springer, 2021. – 1 online resource (xi, 230 pages).
15. Hwang, W., Lei, W., Katritsis, N.M. et al. Current and prospective computational approaches and challenges for developing COVID-19 vaccines // *Advanced Drug Delivery Reviews*. – 2021. epub.
16. Sohail, M.S., Ahmed, S.F., Quadeer, A.A., McKay, M.R. In silico T cell epitope identification for SARS–CoV–2: Progress and perspectives // *Adv Drug Deliv Rev*. – 2021. – Vol. 171, – P. 29-47.
17. Noorimotlagh, Z., Karami, C., Mirzaee, S.A. et al. Immune and bioinformatics identification of T cell and B cell epitopes in the protein structure of SARS–CoV–2: A systematic review // *Int Immunopharmacol*. – 2020. – Vol. 86. – P. 106738.
18. Baruah, V., Bose, S. Immunoinformatics aided identification of T cell and B cell epitopes in the surface glycoprotein of 2019 nCoV // *Journal of medical virology*. – 2020. – Vol. 92, No. 5. – P. 495-500.
19. Oliveira, S.C., de Magalhães, M.T., Homan, E.J. Immunoinformatic Analysis of SARS–CoV–2 Nucleocapsid Protein and Identification of COVID–19 Vaccine Targets // *Frontiers in immunology*. – 2020. – Vol. 11. – P. 2758.
20. Feng, Y., Qiu, M., Zou, S. et al. Multi-epitope vaccine design using an immunoinformatics approach for 2019 novel coronavirus in China (SARS–CoV–2) // *BioRxiv*. – 2020. – Vol. 1, No. 1. – P. 1-12.
21. Wang, X., Xu, W., Tong, D. et al. A chimeric multi-epitope DNA vaccine elicited specific antibody response against severe acute respiratory syndrome – associated coronavirus which attenuated the virulence of SARS–CoV in vitro // *Immunology letters*. – 2008. – Vol. 119, No. 1–2. – P. 71-77.
22. Belikova Y., Samsonov Y., Abakushina E. Modern vaccines and coronavirus infections. *Research and Practical Medicine Journal*, 2020, Vol 7, No. 4. pp. 135-154. (In Russian).
23. Kononov A., Mishchenko V., Dumova B. et al. Antigenic properties of bovine coronavirus vaccine with various adjuvants. *Proceedings of the Federal Center for Animal Health*, 2009, Vol 7, pp. 50-55. (In Russian).
24. Kharchenko E. P. Coronavirus SARS-Cov-2: the complexity of pathogenesis, the search for vaccines and future pandemics. *Epidemiology and Vaccine Prevention*, 2020, Vol 19, No. 3. pp. 4-20. (In Russian).
25. Ozharovskaya T., Zubkova O., Dolzhikova I. et al. Immunogenicity of various forms of glycoprotein S of the Middle East respiratory syndrome coronavirus. *Acta Naturae (Russian version)*, 2019, Vol 11, No. 1 (40). pp. 38-47. (In Russian).
26. Chepurinov A. A., Sharshov K. A., Kazachinskaya E. I. et al. Antigenic properties of SARS-CoV-2 / human / RUS / Nsk-FRCFTM-1/202 coronavirus isolate isolated from a patient in Novosibirsk. *Journal of Infectology*, 2020, Vol 12, No. 3. pp. 42-50. (In Russian).
27. Kharchenko E.P. SARS-CoV-2 coronavirus: features of structural proteins, contagiousness and possible immune collisions. *Epidemiology and Vaccine Prevention*, 2020, Vol 19, No. 2. pp. 13-30. (In Russian).
28. Titova M.A. Approaches to modeling immunogenic peptides: author. dis. for a job. learned. step. Cand. chem. Sciences: 02.00.10 / Titova Maya Adolfovna. - M., 2003, 23 p. M., 2003. (In Russian).
29. Hu, T., Li, J., Zhou, H. et al. Bioinformatics resources for SARS–CoV–2 discovery and surveillance // *Briefings in Bioinformatics*. – 2021. – Vol. 22, No. 2. – P. 631-641.
30. Hufsky, F., Lamkiewicz, K., Almeida, A. et al. Computational strategies to combat COVID–19: useful tools to accelerate SARS–CoV–2 and coronavirus research // *Briefings in Bioinformatics*. – 2020. – Vol. 22, No. 2. – P. 642-663.
31. Kangabam, R., Sahoo, S., Ghosh, A. et al. Next– generation computational tools and resources for coronavirus research: From detection to vaccine discovery // *Computers in biology and medicine*. – 2020. – Vol. 1, No. 1. – P. 104-115.

32. Kiyotani, K., Toyoshima, Y., Nemoto, K., Nakamura, Y. Bioinformatic prediction of potential T cell epitopes for SARS–Cov–2 // *Journal of human genetics*. – 2020. – Vol. 65, No. 7. – P. 569-575.
33. Ogishi, M., Yotsuyanagi, H. Quantitative Prediction of the Landscape of T Cell Epitope Immunogenicity in Sequence Space // *Frontiers in Immunology*. – 2019. – Vol. 10, No. 827. – P. 1-20.
34. Ong, E., Wang, H., Wong, M.U. et al. Vaxign– ML: supervised machine learning reverse vaccinology model for improved prediction of bacterial protective antigens // *Bioinformatics*. – 2020. – Vol. 36, No. 10. – P. 3185-3191.
35. Xiang, Z., He, Y. Genome– wide prediction of vaccine targets for human herpes simplex viruses using Vaxign reverse vaccinology // *BMC Bioinformatics*. – 2013. – Vol. 14, No.1. – P. S2.
36. 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. – Vol. 10, No. Epub 2010 Jul 4. – P. 297505.
37. Vita, R., Overton, J.A., Greenbaum, J.A. et al. The immune epitope database (IEDB) 3.0 // *Nucleic Acids Res*. –Vol. 43, No. 1. – P. D405-12.
38. El–Manzalawy, Y., Dobbs, D., Honavar, V. Predicting linear B–cell epitopes using string kernels // *J Mol Recognit*. – 2008. – Vol. 21, No. 4. – P. 243-55.
39. Seemann, T. Prokka: rapid prokaryotic genome annotation // *Bioinformatics*. – 2014. – Vol. 30, No. 14. – P. 2068-9.
40. Huerta-Cepas, J., Szklarczyk, D., Heller, D. et al. eggNOG 5.0: a hierarchical, functionally and phylogenetically annotated orthology resource based on 5090 organisms and 2502 viruses // *Nucleic Acids Res*. – 2018. – Vol. 47, No. D1. – P. D309-D314.
41. Jones, P., Binns, D., Chang, H.Y. et al. InterProScan 5: genome–scale protein function classification // *Bioinformatics*. – 2014. – Vol. 30, No. 9. – P. 1236-40.
42. Mulder, N., Apweiler, R. InterPro and InterProScan: tools for protein sequence classification and comparison // *Methods Mol Biol*. – 2007. – Vol.396. – P. 59-70.
43. Syed, A., Upton, C. Java GUI for InterProScan (JIPS): a tool to help process multiple InterProScans and perform ortholog analysis // *BMC Bioinformatics*. – 2006. – Vol. 7. – P. 462.
44. Quevillon, E., Silventoinen, V., Pillai, S. et al. InterProScan: protein domains identifier // *Nucleic Acids Res*. – 2005. – Vol. 33, No. 1. – P. W116- 20.
45. Katoh, K., Standley, D.M. MAFFT multiple sequence alignment software version 7: improvements in performance and usability // *Mol Biol Evol*. – 2013. – Vol. 30, No. 4. – P. 772-80.
46. Katoh, K., Frith, M.C. Adding unaligned sequences into an existing alignment using MAFFT and LAST // *Bioinformatics*. – 2012. – Vol. 28, No. 23. – P. 3144-6.
47. Katoh, K., Toh, H. Parallelization of the MAFFT multiple sequence alignment program // *Bioinformatics*. – 2010. – Vol. 26, No. 15. – P. 1899-900.
48. Katoh, K., Asimenos, G., Toh, H. Multiple alignment of DNA sequences with MAFFT // *Methods Mol Biol*. – 2009. – Vol. 537. – P. 39-64.
49. Hung, C.L., Lin, Y.S., Lin, C.Y. et al. CUDA ClustalW: An efficient parallel algorithm for progressive multiple sequence alignment on Multi– GPUs // *Comput Biol Chem*. – Vol. 58. – P. 62-8.
50. Hung, J.H., Weng, Z. Sequence Alignment and Homology Search with BLAST and ClustalW // *Cold Spring Harb Protoc*. – 2016. – Vol. 16, No. 11. – P. 1-10.
51. Vangala, R.K., Singh, L., Gupta, R.P. BioParishodhana: A novel graphical interface integrating BLAST, ClustalW, primer3 and restriction digestion tools // *Bioinformation*. – 2012. – Vol. 8, No. 13. – P. 639-43.
52. Zaal, D., Nota, B. ADOMA: A Command Line Tool to Modify ClustalW Multiple Alignment Output // *Mol Inform*. – 2016. – Vol. 35, No. 1. – P. 42-4.
53. Darling, A.E., Treangen, T.J., Messeguer, X., Perna, N.T. Analyzing patterns of microbial evolution using the mauve genome alignment system // *Methods Mol Biol*. – 2007. – Vol. 396. – P. 135-52.
54. Darling, A.C., Mau, B., Blattner, F.R., Perna, N.T. Mauve: multiple alignment of conserved genomic sequence with rearrangements // *Genome Res*. – 2004. – Vol. 14, No. 7. – P. 1394-403.
55. Angiuoli, S.V., Salzberg, S.L. Mugsy: fast multiple alignment of closely related whole genomes // *Bioinformatics*. – 2010. – Vol. 27, No. 3. – P. 33-42.
56. Cleemput, S., Dumon, W., Fonseca, V. et al. Genome Detective Coronavirus Typing Tool for rapid identification and characterization of novel coronavirus genomes // *Bioinformatics*. – Vol. 36, No. 11. – P. 3552-3555.
57. Vilsker, M., Moosa, Y., Nooij, S. et al. Genome Detective: an automated system for virus identification from high–throughput sequencing data // *Bioinformatics*. – 2018. – Vol. 35, No. 5. – P. 871-873.
58. Gupta, S., Kapoor, P., Chaudhary, K. et al. Peptide toxicity prediction // *Methods Mol Biol*. – Vol. 1268. – P. 143-57.
59. Gupta, S., Kapoor, P., Chaudhary, K. et al. In silico approach for predicting toxicity of peptides and proteins // *PLoS One*. – 2013. – Vol. 8, No. 9. – P. e. 73957.
60. Krutz, N.L., Winget, J., Ryan, C.A. et al. Proteomic and Bioinformatic Analyses for the Identification of Proteins With Low Allergenic Potential for Hazard Assessment // *Toxicol Sci*. – Vol. 170, No. 1. – P. 210-222.
61. Maurer–Stroh, S., Krutz, N.L., Kern, P.S. et al. AllerCatPro– prediction of protein allergenicity potential from the protein sequence // *Bioinformatics*. – 2019. – Vol. 35, No. 17. – P. 3020-3027.
62. Sharma, N., Patiyal, S., Dhall, A. et al. AlgPred 2.0: an improved method for predicting allergenic proteins and mapping



- of IgE epitopes // *Brief Bioinform.* – 2020. – Vol. 1, № 1. – P. 1-7.
63. Neeharika, D., Sunkar, S. Computational approach for the identification of putative allergens from Cucurbitaceae family members // *J Food Sci Technol.* – 2021. – Vol 58, No. 1. – P. 267-280.
64. Sircar, G., Saha, B., Bhattacharya, S.G., Saha, S. In silico prediction of allergenic proteins // *Methods Mol Biol.* – 2014. – Vol. 1184. – P. 375-88.
65. Saha, S., Raghava, G.P. AlgPred: prediction of allergenic proteins and mapping of IgE epitopes // *Nucleic Acids Res.* – 2006. – Vol. 34, No. Web Server issue. – P. W. 202-9.
66. Pagadala, N.S., Syed, K., Tuszynski, J. Software for molecular docking: a review // *Biophys Rev.* – 2017. – Vol. 9, No. 2. – P. 91-102.
67. Grote, A., Hiller, K., Scheer, M. et al. JCat: a novel tool to adapt codon usage of a target gene to its potential expression host // *Nucleic Acids Res.* – 2005. – Vol. 33, No. Web Server issue. – P. W526-31.
68. Zheng, W., Zhang, C., Bell, E.W., Zhang, Y. I – TASSER gateway: A protein structure and function prediction server powered by XSEDE // *Future Gener Comput Syst.* – 2019. – Vol. 99, – P. 73-85.
69. Roy, A., Kucukural, A., Zhang, Y. I – TASSER: a unified platform for automated protein structure and function prediction // *Nat Protoc.* – 2010. – Vol. 5, No. 4. – P. 725-38.
70. Zhang, Y. I – TASSER server for protein 3D structure prediction // *BMC Bioinformatics.* – 2008. – Vol. 9. – P. 40.
71. Raborn, R.T., Brendel, V.P. Using RAMPAGE to Identify and Annotate Promoters in Insect Genomes // *Methods Mol Biol.* – 2019. – Vol. 1858, No. 1. – P. 99-116.
72. Collatz, M., Mock, F., Hölzer, M. et al. EpiDope: A Deep neural network for linear B-cell epitope prediction // *bioRxiv.* – 2020. – No. 1. – P. 1-8.
73. Suprun, M., Ellis, R.J., Sampson, H.A., Suárez- Fariñas, M. bbeaR: an R package and framework for epitope – specific antibody profiling // *Bioinformatics.* – 2021. – Vol. 37, No. 1. – P. 131-133.
74. Ogishi, M., Yotsuyanagi, H. Quantitative prediction of the landscape of T cell epitope immunogenicity in sequence space // *Frontiers in Immunology.* – 2019. – Vol .10. – P. 827.
75. Pittard, W.S., Li, S. The Essential Toolbox of Data Science: Python, R, Git, and Docker // *Methods Mol Biol.* – 2020. – Vol. 2104, No. 1. – P. 265-311.
76. Kwon, C., Kim, J., Ahn, J. DockerBIO: web application for efficient use of bioinformatics Docker images // *PeerJ.* – 2018. – Vol. 6, No. 1. – P. e. 5954.
77. Garofoli, A., Paradiso, V., Montazeri, H. et al. PipeIT: A Singularity Container for Molecular Diagnostic Somatic Variant Calling on the Ion Torrent Next- Generation Sequencing Platform // *J. Mol Diagn.* – 2019. – Vol. 21, No. 5. – P. 884-894.
78. Samdani, A., Vetrivel, U. POAP: A GNU parallel based multithreaded pipeline of open babel and AutoDock suite for boosted high throughput virtual screening // *Comput Biol Chem.* – 2018. – Vol. 74, No. 1. – P. 39-48.
79. Красильников, А.П. Микробиологический словарь-справочник. – 2-е изд., доп. и перераб. – Мн.: ООО "Асар", 1999. – 397 с.

*Received: 19.06.2021*

*Поступила: 19.06.2021*

## Моделирование гемодинамических характеристик кровотока сонной артерии на основе компьютерной томографии

**Д. А. Балюк**, аспирант кафедры электронной техники и технологии

E-mail: dan.baliuk@yandex.ru

ORCID ID: 0000-0001-7766-9915

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Н. С. Давыдова**, к. т. н., доцент, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий

E-mail: davydova-ns@bsuir.by

ORCID ID: 0000-0002-5045-5383

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**М. М. Меженная**, к. т. н., доцент, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики

E-mail: mmmarina@tut.by

ORCID ID: 0000-0001-6770-6591

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**М. В. Давыдов**, к. т. н., доцент, первый проректор

E-mail: davydov-mv@bsuir.by

ORCID ID: 0000-0003-4218-9465

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», ул. П. Бровки, д. 6, 220013, г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Цель работы заключалась в проведение моделирования гемодинамики кровотока и исследовании гемодинамических характеристик кровеносных сосудов. Проведено построение 3D-моделей сонной артерии на основе снимков компьютерного томографа в программном комплексе 3D SLICER. Полученные фантомы моделей промоделированы в программном комплексе FlowVision, методом конечных элементов. Выявлены наиболее опасные патологии геометрии сосудистого русла влияющие на изменение гемодинамических характеристик кровотока. Наибольшую опасность в западании скорости потока в просвете сосуда представляла патология извитости (до 30 %). Патология при образовании аневризмы в незначительной степени влияла на падение скорости (до 8 %). Опасность данной патологии заключалась в повышении давления, оказываемого током крови на стенку аневризмы. Образование атеросклеротических бляшек в просвете сосуда привело к западанию скорости (до 25 %) и повышению давлению в области формирования бляшек.

**Ключевые слова:** сонная артерия, гемодинамические характеристики, метод конечных элементов, гемодинамика, кровеносные сосуды, аневризма, патология извитости, атеросклероз сосудов

**Для цитирования:** Балюк Д.А. Моделирование гемодинамических характеристик кровотока сонной артерии на основе компьютерной томографии / Д.А. Балюк, Н.С. Давыдова, М.М. Меженная, М.В. Давыдов // Цифровая трансформация. – 2021. – № 3 (16). – С. 58–68.



© Цифровая трансформация, 2021

# Modeling the Hemodynamic Characteristics of the Carrotic Care Blood Based on Computer Tomography

**D. A. Baliuk**, Graduate Student of the Department of Electronic Engineering and Technology

E-mail: dan.baliuk@yandex.ru

ORCID ID: 0000-0001-7766-9915

Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics,  
6 P. Brovka Ave, 220013, Minsk, Republic of Belarus

**N. S. Davydova**, Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Infocommunication Technologies

E-mail: davydova-ns@bsuir.by

ORCID ID: 0000-0002-5045-5383

Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics,  
6 P. Brovka Ave, 220013, Minsk, Republic of Belarus

**M. M. Mezhennaya**, Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics

E-mail: mmmarina@tut.by

ORCID ID: 0000-0001-6770-6591

Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics,  
6 P. Brovka Ave, 220013, Minsk, Republic of Belarus

**M. V. Davydov**, Candidate of Sciences (Technical), Associate Professor, First Vice-Rector

E-mail: davydov-mv@bsuir.by

ORCID ID: 0000-0003-4218-9465

Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics,  
6 P. Brovka Ave, 220013, Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The purpose of the work was to conduct modeling of hemodynamics of blood flow and study the hemodynamic characteristics of blood vessels. 3D models of the carotid artery were constructed based on images of a computer tomography in the 3D SLICER software package. The resulting model phantoms are modeled in the FlowVision software package using the finite element method. The most dangerous pathologies of the geometry of the vascular bed affecting the change in the hemodynamic characteristics of the blood flow were identified. The greatest danger in lowering the flow velocity in the lumen of the vessel was the tortuosity pathology (up to 30%). Pathology during the formation of aneurysms to a small extent influenced the decrease in speed (up to 8%). The danger of this pathology was to increase the pressure exerted by the blood stream on the wall of the aneurysm. The formation of atherosclerotic plaques in the lumen of the vessel led to a slowdown (up to 25%) and an increase in pressure in the area of plaque formation.

**Key words:** carotid artery, hemodynamic characteristics, finite element method, hemodynamics, blood vessels, aneurysm, crimp pathology, vascular atherosclerosis

**For citation:** Baliuk D.A., Davydova N.S., Mezhennaya M.M., Davydov M.V. Modeling the hemodynamic characteristics of the carrotic care blood based on computer tomography. *Cifrovaja transformacija* [Digital transformation], 2021, 3 (16), pp. 58–68 (in Russian).

© Digital Transformation, 2021

**Введение.** Причинами нарушения гемодинамики кровотока сосудов головного мозга ишемического характера являются извитость и нарушение геометрии сосудистого русла из-за образования аневризмы, а также формирование атеросклеротических бляшек в просвете артерии [1]. Имеется большое количество методик операционного вмешательства с целью восстановления функционирования данных нарушений. В 1959 году Кваттлбаум, Апсон и Невилл провели первую хирургическую коррекцию [2]. На данный момент важной целью для практической медицины является необходимость прогноза функционирования гемодинамики кровотока сосуда после необходимости проведения хирургического вмешательства.

В настоящее время большое внимание уделяется моделированию тока крови в сосудах человека [3-14]. В работе «Численное исследование влияния патологической извитости артерии на кровоток» [3] проведен анализ с задачей выявить изменения в гемодинамике и напряженно-деформированном состоянии сонной артерии при учете криволинейных параметров материала стенки сосуда. Результаты представлены для модели в норме и с нарушением геометрии (перегибом) внутренней сонной артерии.

В программном комплексе SolidWorks на основе серии изображений, полученных при КТ-ангиографии, созданы трехмерные фантомы геометрии сонной артерии. Имеющиеся фантомы импортированы в конечно-элементный пакет ANSYS, в котором решена трехмерная задача течения кровотока в артерии с податливыми стенками. Исследование коронарных артерий сердца [4] направлено на пояснение механической составляющей процессов формирования атеросклероза. Итоги численных исследований показаны в работе по мере усложнения математической постановки задачи: кровотечение в артериях с гибкими и жесткими стенками. Анализ выявил, что отклонение поля давления к внешнему радиусу артерии ведет к развитию обратных течений, что замедляет нормальный кровоток в просвете сосуда.

В работе [5], в пределах исследования взаимодействия стенки и крови, был проанализирован фантом перистальтического сжатия стенок артерии. Имитация реализовывалась в программном комплексе Comsol Multiphysics 3.5. Моделирование проводилось в несколько этапов. Первоначально реализован двумерный фантом сужающейся артерии: входное сечение

10 мм, радиус выхода 9 мм, длина 100 мм, толщина стенки сосуда 2 мм. Далее фантом был разбит конечно-элементной сеткой, после чего было проведено имитационное моделирование без воздействия на кровь стенки.

Проведен численный анализ трехмерного фантома бифуркации артерии базилярной и мозговых артерий виллизиевого круга в работе «Теоретико-экспериментальное исследование влияния механических факторов на возникновение и патогенез аневризм артерий виллизиевого круга» [6]. Симуляция велась с исследованием упругости стенок и симметрично-асимметричных граничных условий на выходе мозговых артерий. Анализ расчетов показал, что в границах бифуркации в стенке просвета сосуда развиваются области концентрации максимальных касательных напряжений, которые влияют на волокна эластина, что приводит к развитию, а в будущем к разрыву аневризмы.

Работа Иванова Д. В. «Численный расчет плоских моделей артерий с аневризмами» посвящена рассмотрению упрощенных моделей бифуркации базилярной артерии без аневризмы и с ее развитием. Проанализирован характер кровотока в области развития аневризмы и непосредственно в самой аневризме с целью определения влияния гемодинамических характеристик на появление, рост и разрыв аневризм [7]. Максимальный показатель давления крови формируется в области предполагаемого образования аневризмы. Помимо давления в области предполагаемого образования аневризмы действует кинетическая энергия пульсирующего течения. Пульсирующие нагрузки приводят к истощению стенки в области формирования аневризмы.

Методика экспериментального моделирования патологической извитости сонной артерии формируется с созданием фантомов из силиконовых трубок. Фантомы сосудов формируются за счет нанесения жидкого силикона в несколько слоев на восковые дубликаты артерий для создания артерий с эластичными свойствами [8]. Недостатком методики является неадекватность данной модели, поскольку фантом артерии не может воспроизвести реальную. Полученные данные гемодинамических характеристик при использовании искусственного сосуда артерии, могут значительно отличаться от действительности.

Статьи [9 - 12] посвящены численному эксперименту на сонных артериях человека с па

тологических извитостями, реализованные в программном пакете ANSYS. Анализ результатов моделирования показал, что в области изгиба давление крови в поперечном сечении артерии минимально на внутренней стенке артерии, а при приближении к наружной стенке, достигает максимального значения на самой стенке. Для скорости течения кровотока характерна обратная зависимость, за счет разницы давления образуются течения обратной циркуляции (завихрения) [13].

Исследования Б. Язичи [14] и П. С. Щиил [15] посвящены анализу объемного мозгового кровотока с помощью ультразвукографии. Исследования проводились с использованием данных групп людей в возрасте от 20 до 80 лет. Анализ результатов проводился с использованием данных общей, внутренней и наружной сонной и позвоночной артерий. Выявлено значительное сокращение объемного кровотока с возрастом.

Отмечается увеличение диаметра просвета сосуда сонных и позвоночных артерий.

В настоящее время необходимо создание анатомических моделей, геометрия которых максимально приближена к реальным и учитывающим механические свойства материала артерий, а также параметры течения крови исследуемых людей.

Цель работы заключается в проведении моделирования гемодинамики кровотока и исследовании гемодинамических характеристик кровеносных сосудов в программе FlowVision, методом конечных элементов на основе снимков компьютерного томографа.

**Основная часть.** Методика имитации моделирования гемодинамических явлений в просвете сонной артерии требует построения 3D-твердотельной геометрической модели на основе компьютерной томографии (см. рисунок 1). Основа методики моделирования гемодина-

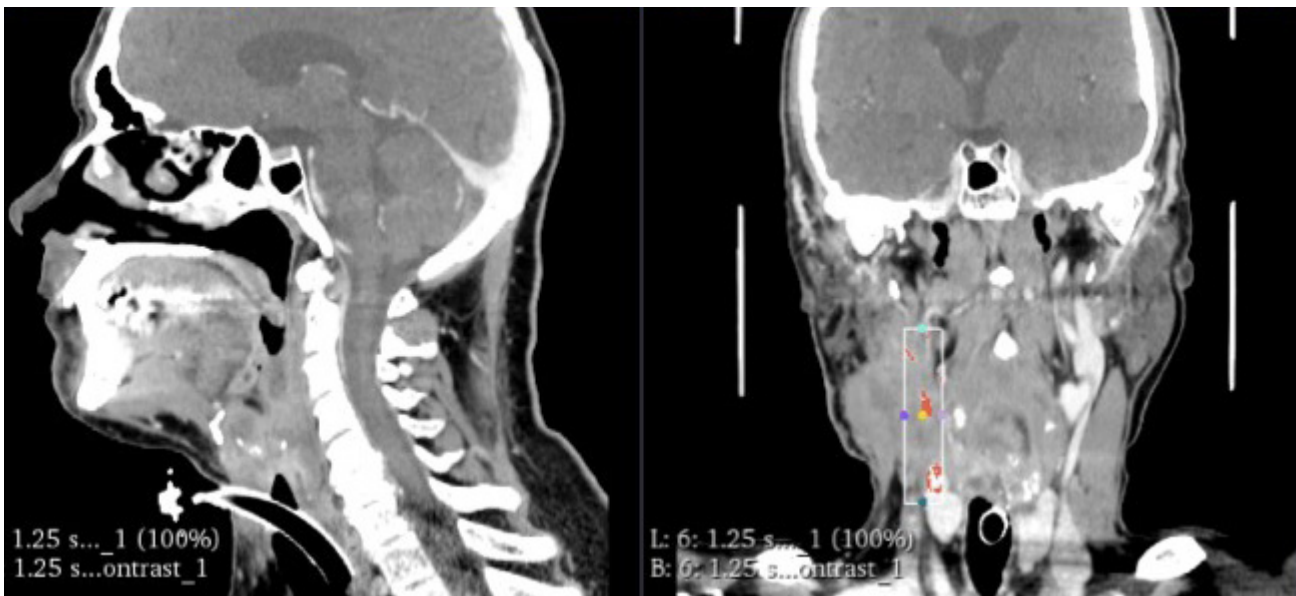


Рис. 1. Снимки компьютерной томографии  
Fig. 1. Computed tomography scans

мики кровотока крупных кровеносных сосудов сводится к оценке визуализации физических параметров (скорости и давления) кровотока.

Для реализации метода предложен алгоритм моделирования (см. рисунок 2).

Снимки, полученные при проведении компьютерной томографии, необходимо преобразовать в программном комплексе для просмотра медицинских изображений – 3D SLICER. Он позво-

ляет выбрать необходимый набор структур, для проведения исследования. Для этого задаются контрольные границы исследуемой области для построения 3D-модели. В выбранной области требуется определить по средствам удаления набора структур в зависимости от плотности материала, геометрические границы оболочки моделируемой сонной артерии (см. рисунок 3).

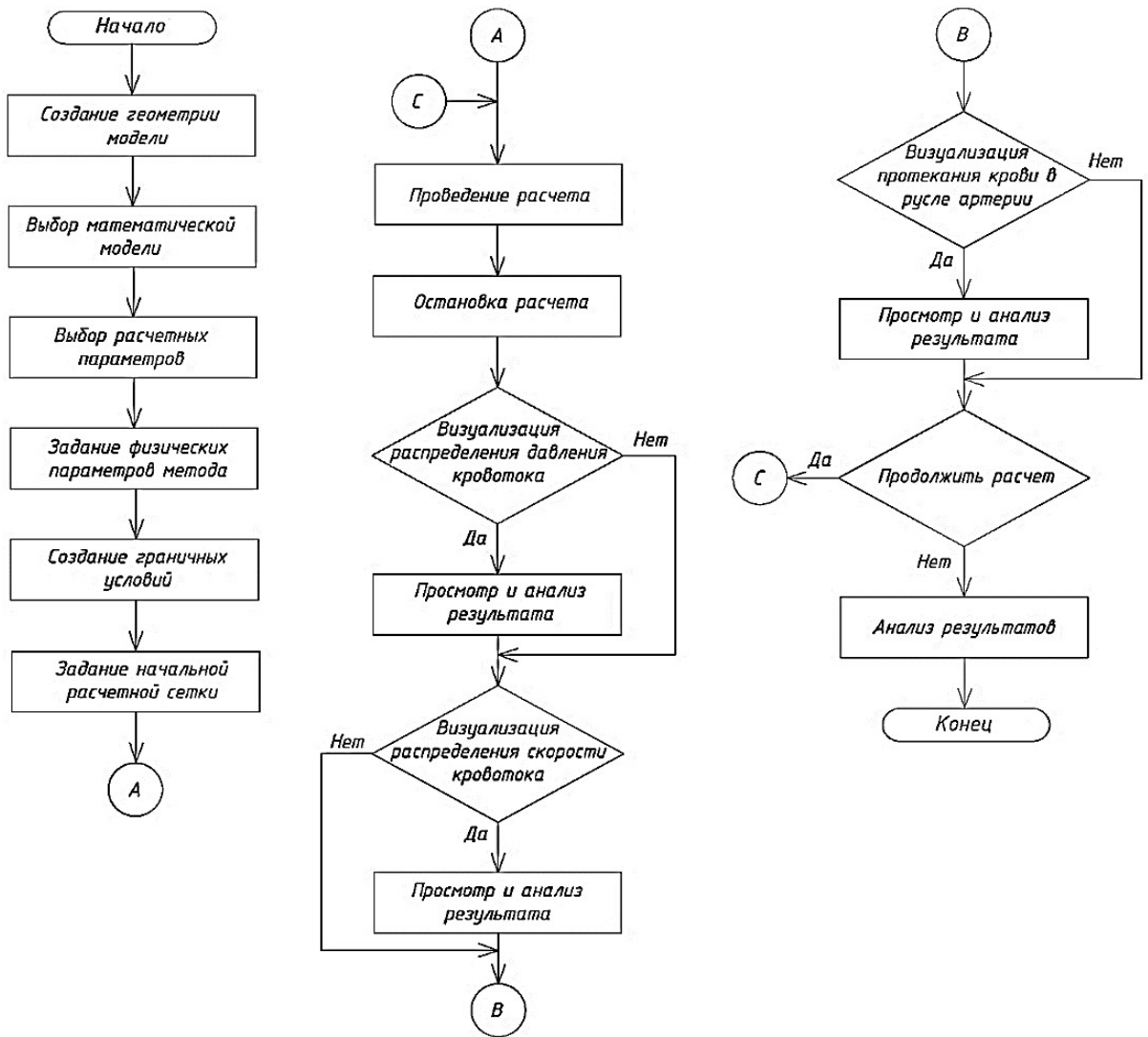


Рис. 2. Алгоритм проведения моделирования гемодинамики крупных кровеносных сосудов  
 Fig. 2. Algorithm for modeling hemodynamic of large blood vessels

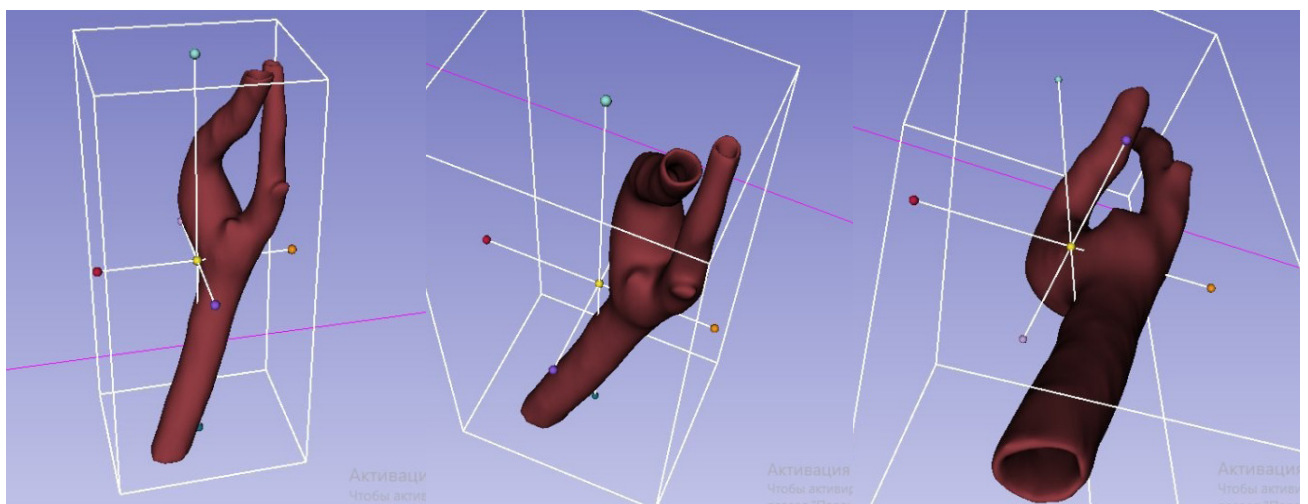


Рис. 3. Результаты построения геометрии сосудистого русла сонной артерии  
 Fig. 3. Results of the carotid artery vasculature geometry

Итогом стало построение пятнадцати моделей сосудистого русла сонной артерии с большим количеством разновидностей патологий развития сосудистого русла: без патологии, веретенноидная, мешковидная, мешковидно-веретенноидная, псевдоаневризма, артерия с образованием атеросклеротической бляшки в месте разделения общей сонной артерии, артерия с атеросклеротической бляшкой на внутренней сонной артерии в области каротидного синуса, артерия с атероскле-

ротической бляшкой на внешней сонной артерии, модели сонной артерии с изгибом в 90°–130°, модель сонной артерии с S-образным изгибом, а также модель с патологией петли.

Параметры моделирования гемодинамических явлений в просвете сонной артерии с построением 3D-твердотельной геометрической модели на основе компьютерной томографии представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры моделирования гемодинамических явлений  
Table 1 – Parameters for modeling of hemodynamic phenomena

Диаметр, мм	от 6 до 10
Скорость кровотока в сонной артерии, м/с	0,5
Модель	Ламинарная жидкость
Температура, К	310,5
Давление, Па	101000
Плотность, кг/см <sup>3</sup>	1050
Молекулярный вес, а. е. м.	66,8
Молекулярная вязкость, Па/с	0,003
Скорость течения на входе, м/с	0,5
Теплопроводность, Вт/м оС	0,6

При методике моделирования имитации гемодинамических явлений в просвете сонной артерии необходимо учитывать: параметры течения крови, характеристики модели материала стенки, а также геометрическую форму, создаваемую сосудам. В качестве фантома жидкости практикуют модель несжимаемой ньютоновской жидкости, а поведение крови в просвете артериального сосуда интерпретируется как ламинарное. Задание постоянных характеристик потока используют сведения из литературных источников [16, 17].

Задаются граничные условия симуляции модели. На входе общей артерии задаем тип граничного условия Вход/Выход (скорость кровотока 0,5 м/с). Тип граничного условия на поверхности сонной артерии – Стенка. Тип границы Стенка, есть твердая поверхность, на которой реализуются условия непротекания и прилипания для переменной Скорость. На выходе сонной артерии (внутренняя и наружная сонная артерии) необходимо задать тип граничного условия Свободный выход. Тип границы Свободный выход представляет собой поверхность, через которую поток выходит из расчетной области – Нулевое давление/Выход. Для расчета программный комплекс FlowVision использует локально адаптивную расчетную сетку. Сначала строится начальная сетка (равномер-

ная или неравномерная), далее задаются критерии адаптации.

Рендеринг полученных результатов расчета представляется по средствам постпроцессора программного комплекса FlowVision.

Отображение моделирования имитации тока крови в просвете сонной артерии с различной патологией развития представлена на рисунках под номером 4.

Рассмотрев среднеобъемную скорость течения кровотока сонной артерии (см. таблица 2), делаем вывод, что формирование вихревого потока, в месте развития аневризмы, недостаточно воздействует на ухудшение среднеобъемной скорости в просвете артерии (4 %). Мешковидно-веретенноидная аневризма образует в большей степени опасность для жизни, ухудшение скорости достигает порядка 8 %.

Геометрическая патология извитости сосудистого русла главным образом снижает объем поступающей крови, необходимой для функционирования головного мозга. Петлеобразная геометрия русла, S-образная и перегиб понижают величину объемного кровотока в районе 30% в сравнении с эталонной артерией, и представляют наибольшую опасность для функционирования головного мозга [18].

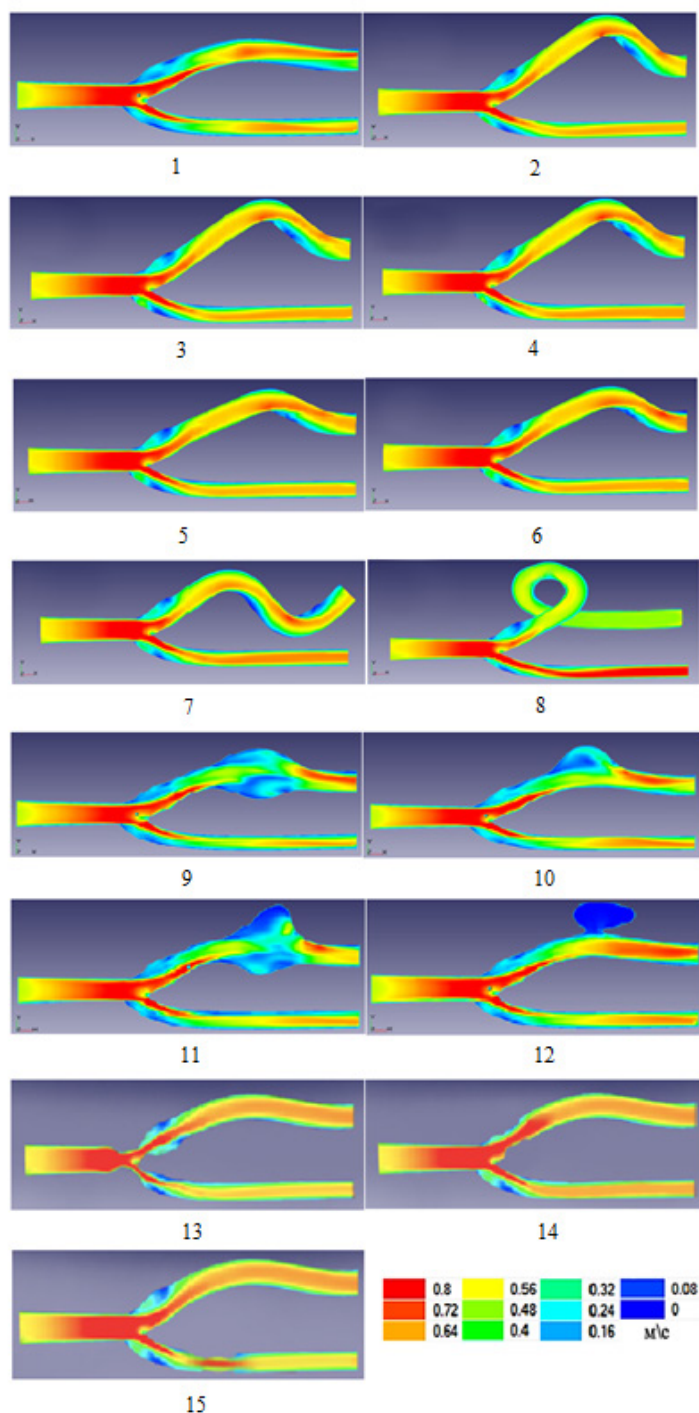


Рис. 4. Результат симуляции формирования скорости кровотока в продольном сечении просвета сосуда: 1 – без патологии; 2 – С-образная патология (угол изгиба 90°); 3 – С-образная патология (угол изгиба 100°); 4 – С-образная патология (угол изгиба 110°); 5 – С-образная патология (угол изгиба 120°); 6 – С-образная патология (угол изгиба 130°); 7 – S-образная геометрия русла; 8 – петлеобразная геометрия русла; 9 – аневризма веретеновидная; 10 – аневризма мешковидная; 11 – аневризма мешковидно-веретеновидная; 12 – псевдоаневризма; 13 – артерия с образованием атеросклеротической бляшки в месте разделения общей сонной артерии; 14 – артерия с атеросклеротической бляшкой внутренней сонной артерии в области каротидного синуса; 15 – артерия с атеросклеротической бляшкой внешней сонной артерии

Fig. 4. Simulation result of blood flow velocity formation in the longitudinal section of the vessel lumen: 1 – no pathology; 2 – C-shaped pathology (bending angle 90°); 3 – C-shaped pathology (bending angle 100°); 4 – C-shaped pathology (bending angle 110°); 5 – C-shaped pathology (bending angle 120°); 6 – C-shaped pathology (bending angle 130°); 7 – S-shaped geometry of the channel; 8 – loop-shaped geometry of the channel; 9 – fusiform aneurysm; 10 – sacciform aneurysm; 11 – bag-shaped and spindle-shaped; 12 – pseudoaneurysm; 13 – artery with the formation of an atherosclerotic plaque at the site of division of the common carotid artery; 14 – artery with an atherosclerotic plaque of the internal carotid artery in the area of the carotid sinus; 15 – artery with atherosclerotic plaque of the external carotid artery



Анализ атеросклеротического изменения геометрии просвета артерии показывает, что в этом случае падение объемного кровотока во внутренней сонной артерии может достигать 25%. Симуляция показала, что снижение кровотока во внутренней сонной артерии прямо про-

порционально увеличению кровотока в наружной сонной артерии. Образование атеросклероза наружной сонной артерии ведет за собой увеличение объемного кровотока внутренней сонной артерии.

Таблица 1 – Параметры моделирования гемодинамических явлений  
Table 1 – Parameters for modeling of hemodynamic phenomena

Геометрическая патология	Объемная скорость кровотока во внутренней сонной артерии, %
без патологий	100 (28,31×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
аневризма веретеновидная	96 (24,49×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
аневризма мешковидная	97 (24,84×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
аневризма мешковидно-веретеновидная	92 (23,43×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
псевдоаневризма	99 (25,39×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
угол изгиба 130°	97 (27,46×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
угол изгиба 120°	94 (26,66×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
угол изгиба 110°	89 (25,06×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
угол изгиба 100°	88 (24,81×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
угол изгиба 90°	76 (21,48×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
S-образная геометрия русла	74 (21,01×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
петлеобразная геометрия русла	72 (20,45×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
атеросклероз общей сонной артерии	75 (21,23×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
атеросклероз короткого синуса	79 (22,36×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)
атеросклероз наружной сонной артерии	103 (29,16×10 <sup>-6</sup> м <sup>3</sup> /с)

Существенная кривизна линий кровотока в просвете артерии приводит к явной диспропорции распределения скорости в латеральной плоскости сосуда. В силу этого формируется спад касательных напряжений на выпуклой стенке. Развитие извитости формирует положительные условия для создания и установления атеросклероза кровеносных сосудов. Изучение симуляции

гемодинамики кровотока демонстрирует изменение течения со спокойного (ламинарного) в более бурное (турбулентное) с образованием воронок и вихрей. Явно это демонстрируется у артерии с развитием геометрической мешковидной и мешковидно-веретеновидной патологии (см. рисунок 5), что обуславливает понижение среднеобъемного кровотока [19, 20].

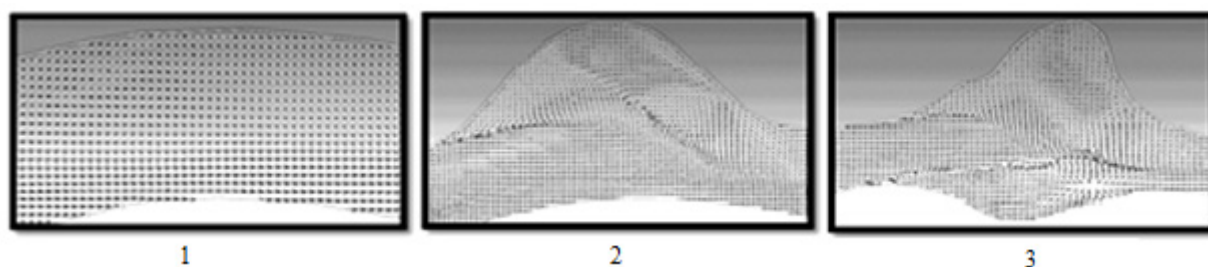


Рис. 5. Вектора направления скорости кровотока в просвете сонной артерии: 1 – без патологии; 2 – мешковидная; 3 – мешковидно-веретеновидная

Fig. 5. Directional vectors of blood flow velocity in the carotid artery lumen: 1 – without pathology, 2 – sacciform, 3 – bag-shaped and spindle-shaped

Отображение моделирования симуляции гемодинамического давления тока крови в просвете сосуда сонной артерии с различной патологией развития геометрии сосудистого русла представлено на рисунках под номером 6.

На базе полученной симуляции распре-

ления давления видно, что отмечается повышение давления тока крови до зоны нарушения геометрии и в зоне нахождения каротидного синуса. Это связано с падением среднеобъемной скорости тока крови из-за изменения геометрии.

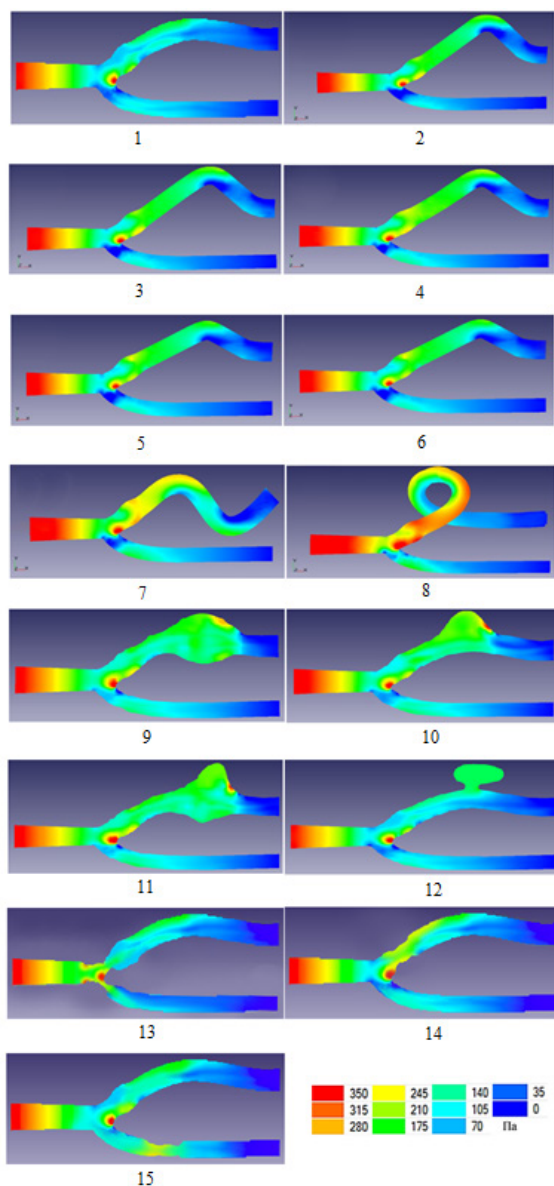


Рис. 6. Результат симуляции формирования давления кровотока в продольном сечении просвета сосуда: 1 – без патологии; 2 – С-образная патология (угол изгиба 90°); 3 – С-образная патология (угол изгиба 100°); 4 – С-образная патология (угол изгиба 110°); 5 – С-образная патология (угол изгиба 120°); 6 – С-образная патология (угол изгиба 130°); 7 – S-образная геометрия русла; 8 – петлеобразная геометрия русла; 9 – аневризма веретеновидная; 10 – аневризма мешковидная; 11 – аневризма мешковидно-веретеновидная; 12 – псевдоаневризма; 13 – артерия с образованием атеросклеротической бляшки в месте разделения общей сонной артерии; 14 – артерия с атеросклеротической бляшкой внутренней сонной артерии в области каротидного синуса; 15 – артерия с атеросклеротической бляшкой внешней сонной артерии

Fig. 5. Simulation result of blood flow pressure formation in the longitudinal section of the vessel lumen: 1 – no pathology; 2 – C-shaped pathology (bending angle 90°); 3 – C-shaped pathology (bending angle 100°); 4 – C-shaped pathology (bending angle 110°); 5 – C-shaped pathology (bending angle 120°); 6 – C-shaped pathology (bending angle 130°); 7 – S-shaped geometry of the channel; 8 – loop-shaped geometry of the channel; 9 – fusiform aneurysm; 10 – sacciform aneurysm; 11 – bag-shaped and spindle-shaped; 12 – pseudoaneurysm; 13 – artery with the formation of an atherosclerotic plaque at the site of division of the common carotid artery; 14 – artery with an atherosclerotic plaque of the internal carotid artery in the area of the carotid sinus; 15 – artery with atherosclerotic plaque of the external carotid artery

При образовании атеросклеротических бляшек наблюдается увеличение оказываемого давления потока крови на область их формирования, что вероятно может привести к разрыву атеросклеротической бляшки. Это опасно тем, что части бляшки попадут с кровью в мелкие сосуды головного мозга, перегородив просвет артерий. Блокировка артерии приводит к полному или частичному падению кровоснабжения зоны головного мозга, питаемому артерией.

**Заключение.** В данной работе проведена симуляция моделирования гемодинамических явлений в просвете сонной артерии с построением 3D-твердотельной геометрической модели на основе компьютерной томографии методом конечных элементов.

Из анализа результатов следует, что наибольшую опасность в западании скорости по-

тока в просвете сосуда представляет патология извитости (до 30%). Патология при образовании аневризмы в незначительной степени влияет на падение скорости (до 8%). Опасность данной патологии заключается в повышении давления, оказываемого током крови на стенку аневризмы. Образование атеросклеротических бляшек в просвете сосуда приводит к западанию скорости (до 25%) и повышенному давлению в области формирования бляшек.

Дальнейшая работа по моделированию влияния геометрии сосудистого русла конкретного пациента на основные гемодинамические процессы сердечно-сосудистой системы даст возможность реализовать и внедрить новые методы персонализированной медицины для неинвазивной диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

## Список литературы

1. Извитости сосудов позвоночника, шеи и мозга: причина, симптомы, лечение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sosudinfo.ru/golova-imozg/izvitost-sosudov/>.
2. Quattelbaum, J.K., Upson E.T., Neville R.L.//Ann Sure. 1959. Vol. 150, № 10. P. 824-832.
3. Лужа, Д. Рентгеновская анатомия сосудистой системы/Д. Лужа. – Будапешт: Издательство акад. наук Венгрии, 1973, – 380 с.
4. Щучкина, О. А. 3D моделирование и численный анализ гемодинамики коронарных артерий сердца человека/О. А. Щучкина, И. В. Кирилова//Современные проблемы математики и её приложения в естественных науках и информационных технологиях/отв. ред. Г.Н. Жолткевича. – Х.:Апостроф, 2011. – 120 с.
5. Гуляев, Ю. П. Моделирование гемодинамики крупных кровеносных сосудов с учетом взаимодействия потока крови со стенкой/Ю. П. Гуляев, А. В. Доль//III сессия Научного совета РАН по механике деформируемого твердого тела/отв. ред. Л. Ю. Коссовича. – Саратов:Изд-во Саратовского университета, 2009. – 13 с.
6. Иванов, Д. В. Теоретико-экспериментальное исследование влияния механических факторов на возникновение и патогенез аневризм артерий виллизиевого круга: дис. канд. физ.-мат. наук/Д. В. Иванов. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2010. – 147 с.
7. Иванов, Д. В. Численный расчет плоских моделей артерий с аневризмами/Д. В. Иванов. – Саратов:Изд-во Саратовского университета, 2011. – 147 с.
8. Способ моделирования патологической извитости внутренней сонной артерии на подопытных животных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/239/2394506.html>.
9. Heilbran, M. P. Overall management of vascular lesions considerent treatable with EIC bypass/M. P. Heilbran. – Neuroswg., 1982.
10. Паулюквичус, А. Р. Прицельная церебральная микроангиография в нейрохирургической клинике/А. Р. Паулюквичус. – М., 1988 г.
11. Иванов, Д. В. Определение механических свойств артерий виллизиевого многоугольника/Д. В. Иванов,, О. А. Фомкина//Российский журнал биомеханики. 2008. – Т. 12, № 4 (42). – С. 75 – 84.
12. Иванов, Д. В. Численное исследование аневризм базилярной артерии: трехмерная постановка/Д. В. Иванов, Е. А. Чесаков, А. А. Макеев//Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине 2009.
13. Статистика.Ru – данные Росстат, Госкомстат государственная статистика России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://statistika.ru/>.
14. Yazici, B. Cerebral blood flow measurements of the extracranial carotid and vertebral arteries with Doppler ultrasonography in healthy adults/B. Yazici, B. Erdogan, A. Tugay// Diagnostic and Interventional Radiology. – 2005. – Vol. 11. – P. 195 – 198.
15. P. Scheel et al.//Stroke. 2000. – Vol. 31. – P. 147 – 150.

16. Ivanov, D. Mechanical properties of Willis circle arteries/D. Ivanov//CMM 2009. Short papers/ed. by M. Kuczma, K. Wilmanski, W. Szajna. – Zielona Gora, 2009. P. 213 – 214.
17. Николаенко, В. Н. Прочностные свойства артерий основания головного мозга взрослых людей 1-го периода зрелого возраста/В. Н. Николенко и др.,//Ангиология и сосудистая хирургия 2008. – Т. 14, № 3. – С. 123–124.
18. Балюк, Д. А. Моделирование и оценка гемодинамических характеристик кровотока сонной артерии при образовании аневризмы/Д. А. Балюк//Доклады БГУИР. 2018 №7 (117). – Минск:БГУИР, 2018. – С. 85 – 89.
19. Балюк, Д. А. Моделирование параметров кровотока (скорости и давления) в зависимости от геометрических параметров сосуда/Д. А. Балюк, И. Ю. Базик, Е. Д. Витковский//Доклады БГУИР. 2016 №7 (101). – Минск : БГУИР, 2016. – С. 110–115.
20. Балюк, Д.А. Моделирование и оценка гемодинамических характеристик кровотока сонной артерии при образовании аневризмы/Д.А. Балюк//Доклады БГУИР. – 2018. – № 7 (117). – С. 58–89.

## References

1. Curvature of the vessels of the spine, neck and brain: cause, symptoms, treatment [Electronic resource]. – Access mode: <http://sosudinfo.ru/golova-imozg/izvitost-sosudov/>.
2. Quattelbaum, J.K., Upson E.T., Neville R.L.//Ann Sure. 1959. Volume 150, No. 10. S. 824-832.
3. Puddle, D. X-ray anatomy of the vascular system/D.A. Puddle. – Budapest: Acad. Sciences of Hungary, 1973, – 380 p.
4. Schuchkina O. A. 3D modeling and numerical analysis of hemodynamics of the coronary arteries of the human heart/O.V. A. Schuchkina, I.V. Kirilova//Modern problems of mathematics and applications in the natural sciences and information technology/ed. ed. G.N. Zholtkevich. – H.: Apostrophe, 2011. – 120 p.
5. Gulyaev, Yu. P. Modeling of hemodynamics of large blood vessels taking into account the interaction of blood flow with the wall / Yu.A. P. Gulyaev, A.V. Dol//III session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the mechanics of a deformable solid/ed. ed. L. Yu. Kossovich. – Saratov: Publishing house of the Saratov University, 2009. – 13 p.
6. pathogenesis of aneurysm of the artery of the willis circle: dis. Cand. Phys.-Math. Sciences/D.V. Ivanov. – Saratov: Publishing house of the Saratov University, 2010. – 147 p.
7. Ivanov D. V. Numerical calculation of flat models of arteries with aneurysms. V. Ivanov. – Saratov: Publishing house of the Saratov University, 2011. – 147 p.
8. A method for modeling pathological extraction of the internal carotid arteries of experimental animals [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.findpatent.ru/patent/239/2394506.html>.
9. Heilbran, M.P. General treatment of vascular lesions that can be treated with EIC bypass surgery/M. P. Heilbran. - Neuroswg., 1982.
10. Paulukyavichus, A. R. Aiming cerebral microangiography in a neurosurgical clinic/A.A. R. Paulukyavichus. – M., 1988
11. Ivanov D. V. Determination of the mechanical properties of the artery of the Willis polygon V. Ivanov, O. A. Fomkina// Russian Journal of Biomechanics. 2008. – T. 12, No. 4 (42). - S. 75-84.
12. Ivanov D.V. Numerical study of basilar artery aneurysm: three-dimensional formulation/D.A. V. Ivanov, E. A. Chesakov, A. A. Makeev//Methods of computer diagnostics in biology and medicine 2009.
13. Statistics. Ru - data from Rosstat, Goskomstat state statistics of Russia [Electronic resource]. - Access mode: <http://statistika.ru/>.
14. Yazychi, B. Measurement of cerebral blood flow of extracranial carotid and vertebral arteries using ultrasound dopplerography in healthy adults/B. Yazychi, B. Erdogm, A. Tugay//Diagnostic and interventional radiology. – 2005. – Issue. 11. – S. 195-198.
15. P. Scheel et al.//Stroke. 2000. – Issue. 31. – S. 147-150.
16. Ivanov, D. Mechanical properties of Willis annular arteries/D. Ivanov//CMM 2009. Brief articles/ed. M. Kuchma, K. Wilmanski, V. Shayna. – Zelena Gora, 2009.S. 213-214.
17. Nikolaenko V. N. Strength properties of the artery of the base of the brain of adults of the 1st period of adulthood/V.V. N. Nikolenko et al.,//Angiology and Vascular Surgery 2008. – T.A. 14, No. 3. – S. 123-124.
18. Balyuk D. A. Modeling and assessment of hemodynamic characteristics of the blood flow of the carotid artery during the formation of aneurysm/D.A. A. Balyuk//Reports of BSUIR. 2018 No. 7 (117). - Minsk: BSUIR, 2018. – S. 85-89
19. Balyuk D. A. Modeling of blood flow parameters (speed and pressure) depending on the geometric parameters of the vessel/D. A. Balyuk, I. Yu. Bazik, E. D. Vitkovsky//Reports of BSUIR. 2016 №7 (101). – Minsk: BSUIR, 2016. – S. 110-115
20. Balyuk D.A. Modeling and assessment of hemodynamic characteristics of the blood flow of the carotid artery during the formation of aneurysm/D.A. Balyuk//Reports of BSUIR. – 2018. – No. 7 (117). – S. 58-89.

# ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ И ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ДЛЯ ЖУРНАЛА «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

В журнале «Цифровая трансформация» публикуются материалы по техническим и экономическим отраслям наук, имеющие определенное научное значение, теоретическую и практическую значимость, ранее не публиковавшиеся.

1. Научная статья — законченное и логически цельное произведение, посвященное конкретному вопросу, разрабатываемому исследователем. Научная статья раскрывает наиболее значимые результаты, полученные исследователем, требующие развернутого изложения и аргументации.

2. Объем научной статьи, учитываемой ВАК, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14 000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.).

3. Научная статья должна включать следующие элементы (в порядке расположения):

- индекс УДК;
- название статьи\* (оно должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова);
- фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, должность и место работы, ученую степень и ученое звание, e-mail, ORCID ID\*;
- аннотацию\*;
- ключевые слова\* (до 15 слов);
- введение (должно содержать цель работы, отражать ее новизну и актуальность);
- основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);
- заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;
- список цитированных источников\*.

4. Аннотация должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
- компактной, однако иметь достаточный объем для отражения содержания статьи (укладываться в объем от 100 до 300 слов).

В аннотации следует сформулировать цель исследования, выделить научную новизну работы (отличия от предыдущих исследований по данной теме), указать использованные методы исследования, описать основные результаты работы, а также фактические и возможные области их применения. Для описания исследования в аннотации следует использовать прошедшее время.

5. Статья направляется в редакцию на русском, белорусском или английском языках по электронной почте (на адрес [journal@unibel.by](mailto:journal@unibel.by)) или с помощью формы на сайте в формате текстового редактора Microsoft Word (название документа — заголовок статьи).

6. Параметры оформления основного текста статьи в Microsoft Word:

- верхнее и нижнее поля — 1,5 см;
- левое и правое поле — 2,5 см;
- междустрочный интервал — 1,5;
- гарнитура — Times;
- размер кегля — 14 пт;
- отступ абзаца — 1,25 см.

Параметры оформления дополнительного текста (информация об авторе, аннотация, ключевые слова, список цитированных источников, подрисуночные подписи, заголовки и текст таблиц и др.):

- междустрочный интервал — одинарный;
- гарнитура — Times;
- размер кегля — 12 пт.

Переносы в тексте должны быть отключены.

---

\* на русском (белорусском) и английском языках

7. В отдельном документе необходимо указать сведения об авторе (ах):

- фамилия, имя, отчество (полностью);
- должность и место работы;
- ученая степень и звание;
- почтовый адрес, номер контактного телефона, адрес электронной почты;
- подтверждение того, что материалы, содержащиеся в тексте статьи, не содержат информации ограниченного распространения и печатаются впервые.

При наличии нескольких авторов должно быть указано, кто отвечает за переписку.

8. Рисунки размещаются как в полном тексте работы, так и в виде отдельных файлов с разрешением не менее 300 dpi. Все рисунки должны иметь подписи\*.

Графики предоставляются в полном тексте работы и в отдельном файле в формате Microsoft Excel с цифровым материалом, по которому построены графики.

Формулы оформляются с помощью редактора формул Microsoft Equation.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок\*.

Все рисунки, формулы и таблицы должны быть пронумерованы.

9. Ссылки на литературу даются в квадратных скобках. Перечень источников в порядке появления в тексте приводится под заголовком «Список литературы» в конце статьи. Список литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003.

Список литературы должен включать авторитетные научные публикации по теме статьи, в том числе на иностранном языке. Ссылки на собственные работы авторов не должны составлять более трети от общего числа публикаций, включенных в список литературы.

*Полные правила оформления и предоставления статей с примерами составления списков литературы на русском и английском языках представлены на сайте <http://dt.giac.by>.*

## AUTHOR GUIDELINES OF THE JOURNAL "DIGITAL TRANSFORMATION"

The journal publishes materials on technical and economic sciences, having a certain scientific significance, theoretical and practical significance, previously not published.

1. The article should be submitted to the editors in Russian, Belarusian or English languages by e-mail [journal@unibel.by](mailto:journal@unibel.by) or by form on the site as a Microsoft Office Word document (\*.doc, \*.docx and \*.rtf formats).

2. The volume of scientific article should be at least 0.35 of the author's sheet (14,000 characters, including spaces between words, punctuation marks, numbers, etc.).

3. Scientific articles should include the following elements (in order of location):

– UDC index (see <https://teacode.com/online/udc/>);

– title of the article\* (it should reflect the main idea of the research, be as brief as possible, contain keywords);

– name and initials of the author (authors) of the article, position and place of work, academic degree and academic title, e-mail, ORCID ID\* ;

– abstract\*;

– keywords\* (up to 15 words);

– introduction (it should contain the purpose of the work, reflect its novelty and relevance);

– the main part, including graphs and other illustrative material (if any);

– conclusion, concluded with clearly formulated conclusions;

– references\*.

4. The abstract should be:

– informative (should not contain common words);

– substantial (reflecting the main content of the article and the results of the research);

– structured (follow the logic of describing the results in the article);

– compact, but have enough volume to reflect the content of the article (fit into the volume from 100 to 300 words).

---

\* на русском (белорусском) и английском языках

\* in Russian (in Belarusian) and in English

The abstract should state the purpose of the study, highlight the scientific novelty of the work (differences from previous studies on this topic), indicate the used research methods, describe the key research findings, as well as actual and possible areas of their application.

5. Settings for the main text of the article in Microsoft Word:

- margins — 2 cm;
- line spacing — 1,5;
- font — Times;
- font size — 14 pt;
- line spacing — 1.25 cm.

Options for additional text (information about the author, abstract, keywords, list of quoted sources, captions, headings and text of tables, etc.):

- line spacing — 1;
- font — Times;
- font size — 12 pt.

6. In a separate document it is necessary to indicate information about the author (s) (the form is attached):

- Surname, name, patronymic (in full);
- position and place of work;
- academic degree and title;
- postal address, contact phone number, e-mail address;
- confirmation that the materials contained in the text of the article do not contain information of limited distribution and are printed for the first time.

If there are several authors, a person responsible for the correspondence should be indicated.

The article provided in paper form must be signed by all authors.

7. Drawings should be placed both in the full text of the work, and as separate files with a resolution of at least 300 dpi.

The graphs should be provided in the full text of the work and in a separate file in Microsoft Excel format with digital material on which the graphs are built.

Formulas are formalized using the Equation Formula Editor.

Tables are located directly in the text of the article. Each table must have a header.

All figures, formulas and tables should be numbered.

8. References to the literature are given in square brackets. The list of sources in the order of appearance in the text is given under the heading "References" at the end of the article.

References should include authoritative scientific publications on the topic of the article, including papers in a foreign language. References to authors' own works should not constitute more than a third of the total number of publications included in the list of references.

*Full Author Guidelines in Russian and English are available at <http://dt.giac.by>.*

# ВАША РЕКЛАМА В ЖУРНАЛЕ «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»



«Цифровая трансформация» — рецензируемый научно-практический журнал, посвященный анализу процессов цифровизации различных сфер общественной жизни.

Журнал выходит 1 раз в квартал



## ЧТО МЫ ПРЕДЛАГАЕМ?

- размещение рекламы в печатной и электронной версии журнала
- включение в список партнеров на сайте журнала
- скидка в размере **25%** при заключении договора на год

## ПРЕИМУЩЕСТВА

- высокий научный статус журнала
- широкая аудитория IT-специалистов, представителей учреждений образования и органов государственного управления
- высококачественная цветная печать страниц/разворотов рекламы
- журнал активно распространяется на различных государственных мероприятиях (охватывают более 5000 участников)

## СТОИМОСТЬ

### Стандартное размещение (1 страница):

1000 бел. руб./ страница

Единовременная оплата рекламы в 4 выпусках – 700 бел. руб./страница

### Специальное размещение (1/2 страницы):

500 бел. руб./ полстраницы

Единовременная оплата рекламы в 4 выпусках – 350 бел. руб./полстраницы

## ПОДПИСНЫЕ ИНДЕКСЫ

**75057** – для индивидуальной подписки

**750572** – для ведомственной подписки