



Уважаемые читатели и авторы!

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

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

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

Журнал «Цифровая трансформация» зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь (свидетельство о регистрации от 27.09.2017 г. № 662), перерегистрирован 10.06.2022 г. (учредитель и издатель Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»). Журнал включен приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований (отрасли наук: технические (информатика, компьютерная техника), экономические и образование). Также журнал индексируется в базах Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), Directory of Open Access Journals (DOAJ), EconPapers. Префикс DOI 10.35596.

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

Редакция журнала «Цифровая трансформация»



ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Научный журнал издается с 1995 г. Выходит ежеквартально.

Ранее издание выходило под названием «Информатизация образования».

В 2017 г. журнал перерегистрирован под названием
«Цифровая трансформация», ISSN 2522-9613.

Главный редактор

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Косяков Д. В., ведущий инженер отдела информационных технологий Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск, Российская Федерация).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2022

DIGITAL TRANSFORMATION

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

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

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

Head Editor

V. Bogush, Doctor of Science (Phys. and Math.),

Rector of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus.

Editorial Board

V. Safonov, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Vice-Rector for Science, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus.

M. Kovalev, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor at the Department of Analytical Economics and Econometrics, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus.

A. Kurbackij, Dr. of Sci. (Tech.), Head of the Department of Programming Technologies, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus.

T. Borbotko, Dr. of Sci. (Tech.), Head of the Department of Information Security, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus.

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

A. Bondar, Dr. of Sci. (Econ.), Head of the Department of Economic Policy, Belarus State Economic University, Minsk, Belarus.

S. Miksyuk, Dr. of Sci. (Econ.), Professor at the Department of Applied Mathematics and Economic Cybernetics, Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus.

G. Chitaya, Dr. of Sci. (Econ.), Head of the Department of Applied Mathematics and Economic Cybernetics, Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus.

V. Glukhov, Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation.

D. Kosyakov, Leading Engineer at the Information Technology Department, Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation.

G. Malinetskiy, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Head of the Department of Mathematical Modeling of Nonlinear Processes, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation.

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

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

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

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

Computer design and layout specialist: A. D. Hurbo

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

Signed for printing 14.05.2022. Format 60×84 1/8. Offset paper. Printed on a risograph.

Ed.-pr. I. 10,0. Ed.-ed. I. 8,2. Circulation 300 copies. Order 63.

Distributed by subscription. Subscription is carried out through post offices according to the catalog of newspapers and magazines of the Republic of Belarus.

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

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

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



ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

DIGITAL TRANSFORMATION

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНИКА, ОБРАЗОВАНИЕ, ЭКОНОМИКА

Экономические науки

Апанасевич М. В. Разработка методики оценки уровня инновационного потенциала промышленного предприятия.....	5
Романовский Ю. Ю. Сравнение привлечения инвестиций через <i>ICO</i> и <i>IPO</i> в международной практике	14
Морозов Р. И., Косяк Е. Л. Применение информационно-аналитического инструмента Rep:grid для анализа организационных ценностей белорусских компаний.....	23

Технические науки

Листопад Н. И., Бущик Е. А. Проектирование информационных образовательных систем.....	33
Марков А. Н., Парамонов А. И. Анализ работы балансировщика нагрузки сервиса видеоконференц-связи	43
Виничук О. Н., Дравица В. И. Разработка алгоритмов обработки изображений больших объемов	52
Кабачек В. В., Давыдова Н. С., Меженная М. М., Давыдов М. В. Антропоморфные модели мозга на основе изображений магнитно-резонансной томографии.....	61

CONTENTS

INFORMATICS, COMPUTER EQUIPMENT, EDUCATION, ECONOMICS

Economic Sciences

Apanasevich M. V. Development of a Methodology for Assessing the Level of Innovative Potential of an Industrial Enterprise.....	5
Ramanouski Y. Y. Comparison of Attracting Investments Through ICO and IPO in International Practice.....	14
Marozau R. I., Kosyak E. L. The Use of the Analytical Tool Rep:grid for the Analysis of Belarusian Companies' Values.....	23

Technical Sciences

Listopad N. I., Bushchyk E. A. Design of Digital Education Systems	33
Markov A. N., Paramonov A. I. Load Balancer Operation Analyses of Video-Conference Service.	43
Vinichuk O. N., Dravitsa V. I. Development of Algorithms for Processing Images of Large Volumes	52
Kabachek V. V., Davydova N. S., Mezhennaya M. M., Davydov M. V. Anthropomorphic Brain Models Based on Magnetic Resonance Imaging	61





<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-5-13>

Оригинальная статья / Original paper

УДК: 338.3.01

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

М. В. АПАНАСЕВИЧ

Белорусский государственный экономический университет (Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 12 мая 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Успешность любой современной компании во многом определяется ее ориентированностью на развитие, а инновации становятся неотъемлемой частью ее деятельности. Выбор направления инновационного развития предопределяется имеющимся у нее потенциалом, а потому крайне важно понимание сущности указанной дефиниции. В статье рассмотрены сущность и содержание понятия «инновационный потенциал». Выделены распространенные подходы к его определению и методикам оценки, выявлены их преимущества и недостатки. Предложена авторская трактовка инновационного потенциала промышленного предприятия и представлена новая методика его оценки. Значимость данной статьи заключается в отсутствии на сегодняшний день подобной методики оценки инновационного потенциала. В отличие от существующих, предлагаемая автором методика позволяет: учитывать разную степень влияния структурных показателей на результирующий благодаря наличию коэффициентов весомости; минимизировать фактор субъективности при выставлении баллов; проводить всесторонний анализ состояния компании благодаря комплексной оценке показателей, структурные составляющие которых имеют различные величины измерения; на основе динамики показателей определять перспективы и формировать стратегии развития компании.

Ключевые слова: инновационное развитие, инновационный потенциал, структура инновационного потенциала, методика оценки, промышленное предприятие.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Апанасевич М. В. Разработка методики оценки уровня инновационного потенциала промышленного предприятия. *Цифровая трансформация*. 2022; 28(2): 5-13.

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR ASSESSING THE LEVEL OF INNOVATIVE POTENTIAL OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

MARYIA V. APANASEVICH

Belarussian State Economic University (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 12 May 2022

© Belarussian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The success of any modern company is largely determined by its focus on development, innovation becomes an integral part of its activities. The choice of innovative development's direction is predetermined

by the potential it has, and therefore it is extremely important to understand the essence of this definition. The article considers the essence and content of the concept of “innovation potential”. Common approaches to its definition and evaluation methods are highlighted, their advantages and disadvantages are revealed. The author’s interpretation of the innovative potential of an industrial enterprise is proposed and a new method of its assessment is presented. The significance of this article lies in the today’s absence of such a methodology for assessing the innovation potential. Unlike the existing ones, the new methodology proposed by the author allows to take into account different degrees of influence of structural indicators on the resulting one due to the presence of weighting coefficients; to minimize the subjectivity factor when scoring; to conduct a comprehensive analysis of the company’s condition through a comprehensive assessment of indicators, the structural components of which have different measurement values; to determine the prospects based on the dynamics of indicators and to form strategies for the company’s development.

Keywords: innovative development, innovative potential, structure of innovation potential, evaluation method, industrial enterprise.

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

For citation. Apanasevich M. V. Development of the Methodology for Assessing the Level of Innovative Potential of an Industrial Enterprise. *Digital Transformation*. 2022; 28(2): 5-13.

Введение

Сегодня одним из ключевых условий формирования конкурентоспособной стратегической перспективы современного предприятия является его инновационная активность. Согласно «золотому правилу инновационной деятельности», сформулированному Нехорошевой Л. Н., в современных условиях не рисковать более рискованно, чем рисковать, разрабатывая новые виды продукции и технологии, т.к. отсутствие инновационного развития приведет к потере конкурентоспособности продукции и, в конечном счете, уходу компании с рынка [1].

Необходимость инновационного развития предъявляет новые требования к содержанию, организации, формам и методам управленческой деятельности компании. В свою очередь, это вызывает потребность в теоретическом осмыслении сущности инновационного потенциала, выявлении факторов, определяющих его уровень и влияющих на его изменения.

В современных экономических условиях каждая компания формирует собственную инновационную политику, определяющую направления реализации инновационных преобразований. При этом в процессе стратегического планирования должно быть учтено множество факторов, включающих в себя как внутренние особенности производства, так и влияние внешней среды его функционирования.

Целью написания данной статьи является рассмотрение сущности инновационного потенциала промышленного предприятия, выявление его структуры и определение ключевых элементов, анализ подходов к его оценке различных авторов и предложение авторской методики оценки инновационного потенциала. Выбор направления инновационного развития субъекта хозяйствования зависит от его перспектив (кадровых, технологических, рыночных и пр.) и основывается на имеющемся у него потенциале как показателе, отражающем возможности реализации изменений.

В статье [2] были проанализированы различные подходы к определению сущности инновационного потенциала и предложена авторская формулировка данной дефиниции. Автор определяет инновационный потенциал (ИП) как способность предприятия к инновационному развитию, которая, в свою очередь, основывается на эффективности инновационной деятельности и обуславливается совокупностью условий и средств, создающих определенную возможность для ее осуществления. В статьях [2, 3] были определены и проанализированы методики оценки ИП различными авторами и выделены три группы подходов – ресурсные, результативные и целевые.

При ресурсном подходе рассматривается и оценивается «вход» системы управления компанией, т.к. предполагается, что для успешного развития компания должна иметь все необходимые для этого ресурсы. Так, Ковалев В. В. [4, гл. 5] предлагает методику оценки потенциала предприятия по показателям финансовых и имущественных активов, которые

представлены в бухгалтерской отчетности. На основе учитываемых показателей анализируется ликвидность и платежеспособность компании, ее финансовая устойчивость, которая, по мнению автора, и определяет потенциал предприятия. Согласно Матвейкину В. Г. [5], инновационный потенциал компании определяет ее способность к развитию через инновационно-инвестиционную деятельность. Измерение ИП предполагает анализ совокупности материальных, интеллектуальных, научно-технических, финансовых и информационных ресурсов, состояние которых оценивается экспертами.

Ресурсный подход позволяет оценить состояние ресурсной базы, своевременно выявить недостачу ресурсов, необходимых для инновационной деятельности. В то же время, оценивается только текущее состояние предприятия и не учитывается эффективность использования ресурсов, что не способствует решению задач по стратегическому планированию. При результативном подходе потенциал рассматривается как отражение конечного результата реализации имеющихся ресурсов и возможностей и предполагает оценку эффективности инновационной деятельности и связанных с ней процессов, в ходе реализации которых создается инновационный продукт.

Общий потенциал развития предприятия Сычева М. И. [6] базируется на трех потенциалах его составляющих: финансовой, производственной и маркетинговой. Для их измерения используются статистические данные деятельности предприятия за 5 лет: вычисляется оценка средних математических ожиданий, средних квадратических отклонений, коэффициентов вариации, ошибок средних значений, медиан, асимметрий и эксцессов, их ошибок; строится доверительный интервал; осуществляется оценка закона распределения, на основе которой производится временное прогнозирование и корреляционно-регрессионный анализ показателей. Полученные уравнения регрессии представляют собой зависимость результативных показателей эффективности работы предприятия от влияющих на него производственно-экономических факторов. В результате оптимизации полученных значений потенциалов и сведения их в единую модель выводится общий показатель потенциала развития предприятия.

Методика Зинченко В. Я. [7] предполагает набор вопросов, анализ ответов на которые дает возможность произвести функциональную оценку индикаторов, характеризующих преимущества, слабые стороны и риски в инновационной деятельности компании. На основе полученной информации производится интегральная оценка инновационной восприимчивости, активности и конкурентоспособности. Комплексная оценка инновационного потенциала строится на основе функциональных и интегральных оценок и включает в себя описание областей преимуществ и зон рисков инновационной деятельности промышленного предприятия.

Результативный подход включает в себя результирующие показатели производственной деятельности компании, позволяющие оценить эффективность использования ее активов. Тем не менее, многие методики данного подхода перегружены показателями производственной деятельности, что приводит к излишней их трудоемкости.

Целевой подход основывается на анализе сопоставимости текущих характеристик набора показателей требуемым. Оцениваемые показатели представляют собой комбинацию ресурсных и результативных, определенных под конкретный проект. Цуканова Н. Е. [8] предлагает комбинированную оценку инновационного потенциала компании. Показателями инновационной активности у нее выступают: 1) кадровая обеспеченность инновационной деятельности; 2) доля оборудования, связанного с инновационными внедрениями; 3) доля нематериальных активов в составе внеоборотных активов компании; 4) обеспеченность финансовыми средствами для инвестирования в инновационные проекты. Автор полагает, что оценка совокупности данных показателей позволяет определить готовность предприятия к осуществлению инновационной деятельности параллельно с текущей производственной.

Согласно разработанным нормативам предлагает измерять инновационный потенциал Горбунов В. Л. [9]. В качестве элементов структуры ИП он выделяет: 1) кадровый потенциал; 2) техническое оснащение, его готовность к проведению НИОКР и выпуску инновационной продукции; 3) условия работы с инвесторами; 4) маркетинг инновационной продукции; 5) финансовое положение; 6) контроль качества на предприятии; 7) интеллектуальную собственность. Каждая составляющая определяется набором показателей, оцениваемых по шкале от 0 до 5 баллов. Согласно специально разработанным критериям, эксперт производит выбор наиболее соответствующих, с его точки зрения характеристик, и, на основе присвоения баллов, осуществляет оценку потенциала компании. Автор также отмечает, что, по желанию, методика

может быть дополнена весовыми коэффициентами, однако на итоговую оценку влияет эксперт, который имеет возможность корректировать вычисленный показатель. Интегральная оценка инновационного потенциала представляет собой итоговую таблицу, в которой представлены результаты мониторинга по каждому элементу его структуры.

Целевой подход позволяет проанализировать меру готовности предприятия к реализации инновационного проекта на основе характеристики ресурсов и эффективности их использования. Однако в подобных методиках отсутствует возможность выведения комплексного показателя состояния ИП, сопоставимого на горизонтальном и вертикальном уровнях.

С точки зрения автора, наибольший интерес по своим исходным предпосылкам и перспективам представляет результативный подход. В то же время, Шутилин В. Ю. отмечает, что сдерживающим фактором развития и практической реализации концепции потенциала в рамках стратегического управления является отсутствие единого понимания категории потенциала. В монографии [10] им сделан вывод о том, что единственной точкой соприкосновения мнений различных авторов является выделение в составе потенциала ресурсной и возможностной детерминант. «Исходя из этимологической сути, потенциал изменчив во времени, поскольку является носителем как ресурсной, так и инструментальной компоненты, характеризующей способность системы к трансформации ресурсов в возможности. Наличие этих компонент служит внутренним источником динамики».

Если ресурсы могут быть оценены как количественно, так и качественно, то возможности оценки в абсолютных показателях затруднительны. Методика измерения инновационного потенциала должна представлять собой комбинацию расчетных и оценочных методов и основываться на динамике структурных показателей, поскольку наличие и степень развития элементов инновационного потенциала предприятия определяют текущую готовность и будущую степень эффективности освоения новых технологий.

Представление инновационного потенциала промышленного предприятия через человеческую, производственную и репутационную составляющие позволяет осуществить не только его оценку, но также более детальный анализ, облегчить планирование и контроль, выявить узкие места и, при необходимости, своевременно вносить коррективы в деятельность предприятия.

Каждая составляющая ИП включает шесть показателей, являющихся ключевыми при оценке потенциала компании. Структурные элементы человеческого, производственного и репутационного потенциала представлены на рис. 1.



Рис. 1. Структура инновационного потенциала
Fig. 1. Structure of innovation potential

Уровень человеческого потенциала (ЧП) определяется стабильностью кадрового ядра

компании, наличием в его структуре обученных мотивированных сотрудников, обладающих требуемым уровнем подготовки, квалификации, производительности их труда и размером инвестиций, вкладываемых в развитие человеческого капитала (ЧК) компании.

Производственный потенциал (ПП) позволяет оценить технико-технологический уровень производства, а также инновационную активность и интеллектуальное обеспечение производственной деятельности – внутреннюю составляющую интеллектуального капитала, включающую в себя такие показатели, как объекты интеллектуальной собственности (ОИС) и производственный капитал (ПК) компании.

На формирование репутационного потенциала (РП) оказывает влияние взаимодействие компании с другими участниками рынка. Репутационный потенциал характеризует финансовую независимость компании и ее положение на рынке, востребованность ее продукции на внутреннем рынке и за рубежом на основе показателей рентабельности продаж, внешней составляющей интеллектуального капитала – репутационного капитала (РК) и объемов экспорта продукции (в том числе инновационной). В статье [11] была исследована сущность интеллектуального капитала и его роль в инновационном развитии организации. При определении интеллектуального капитала была выделена его трехэлементная структура, включающая человеческий, производственный и организационный капиталы.

Несмотря на подобие структур интеллектуального капитала и инновационного потенциала следует отметить, что, в отличие от интеллектуального капитала, отражающего имеющиеся у компании интеллектуальные активы в виде величин ЧК, ПК и РК, инновационный потенциал позволяет исследовать эффективность их использования и, с учетом влияния внешних и внутренних факторов, оценить перспективы ведения инновационной деятельности и развития компании в целом. Представление инновационного потенциала через человеческую, производственную и репутационную составляющие позволяет осуществить не только его оценку, но также более детальный анализ, облегчить планирование и контроль, выявить узкие места и, при необходимости, своевременно вносить коррективы в деятельность компании. Наличие и степень развития элементов инновационного потенциала компании предопределяют текущую готовность и будущую степень эффективности освоения новых технологий.

Как было отмечено ранее, каждая составляющая ИП включает шесть показателей, являющихся, по мнению автора, ключевыми при оценке потенциала компании. Развитие инновационного потенциала промышленного предприятия возможно только при условии развития составляющих его компонент.

Анализ возможностей и перспектив развития основывается на темпах роста. Уровень инновационного потенциала пребывает в постоянной динамике, причем изменения могут происходить как в сторону повышения, так и в сторону снижения, а потому все показатели, входящие в состав инновационного потенциала, будут рассматриваться в динамике, что позволит оценить не просто статический показатель, но и его развитие. Оценка будет производиться на основе балльной шкалы. Для уменьшения субъективности шкала максимально стандартизирована.

Алгоритм измерения будет представлять собой совокупность следующих действий.

1. Определение текущих показателей, входящих в состав отдельного потенциала. На первом этапе собираются данные, полученные по показателям за текущий год.
2. Определение соответствующих показателей предыдущего периода.
3. Вычисление цепных темпов роста. На третьем этапе вычисляется процентное изменение показателя в текущем году по отношению к предыдущему.
4. Сопоставление текущих показателей динамики с соответствующими показателями предыдущего периода.

Вычисленный на третьем этапе коэффициент сопоставляется с коэффициентом предыдущего периода. Результатом такого сопоставления выступает их разность, положительное или отрицательное значение которой характеризует вектор направленности изменений. С точки зрения автора, именно сравнение значений динамики позволяет оценить потенциал исходных показателей.

5. Определение вектора направленности изменений и присвоение им баллов:

- а) если динамика увеличивается, показателю присваивается 3 балла;
- б) если увеличение составляет больше 5 %, показателю присваивается 5 баллов;
- в) если отношение практически неизменно в сравнении с предыдущим периодом,

но динамика положительная, показателю присваивается 1 балл;

г) если отношение практически неизменно в сравнении с предыдущим периодом, но динамика отрицательная, показателю присваивается –1 балл;

д) если динамика уменьшается, показателю присваивается –3 балла;

е) если уменьшение составляет больше 5 %, показателю присваивается –5 баллов;

ж) если значение показателя за отчетный период равно 0, показателю присваивается –5 баллов;

з) если значение показателя за отчетный и предыдущий периоды равно 0, показателю присваивается –1 балл;

и) если значение показателя за предыдущий период равно 0, показателю присваивается 5 баллов.

6. Анализ полученных значений, выявление причин недополученных баллов.

7. Корректировка балльных значений с учетом коэффициентов весомости.

Полученные показатели корректируются с учетом их влияния на инновационную деятельность компании. Степень влияния оценивается с помощью корреляционного анализа, отражающего тесноту взаимосвязи показателей, составляющих определенный вид потенциала, с результирующим показателем.

В качестве результирующего выступает показатель, на значение которого в наибольшей степени влияют изменения отдельного потенциала. Так, автор предлагает определять коэффициенты весомости для составляющих человеческого потенциала исходя из их корреляции с объемом инновационной продукции, приходящейся на одного человека; для составляющих производственного потенциала – с производительностью труда; для репутационного – с выручкой от реализации, приходящейся на человека. С точки зрения автора, каждый результирующий показатель должен быть рассмотрен исходя из расчета на человека, поскольку такие показатели позволяют учесть роль человеческого фактора в формировании потенциала компании. Коэффициент весомости присваивается отдельному показателю исходя из соотношения его коэффициента корреляции с суммой всех коэффициентов корреляции, входящих в состав конкретного потенциала.

$$k_{vi} = k_{ki} / \sum_{i=1}^n k_{ki} , \quad (1)$$

где k_{vi} – коэффициент весомости i -го показателя; k_{ki} – коэффициент корреляции i -го показателя.

8. Вычисление конкретного потенциала путем суммирования всех его скорректированных показателей:

$$\text{ЧП} = \sum_{i=1}^n x_{qi} \cdot k_{qvi} , \quad (2)$$

где ЧП – человеческий потенциал, баллов; x_{qi} – показатель, входящий в состав человеческого потенциала, баллов; k_{qvi} – коэффициент весомости показателя человеческого потенциала.

$$\text{ПП} = \sum_{i=1}^n x_{pi} \cdot k_{pvi} , \quad (3)$$

где ПП – производственный потенциал, баллов; x_{pi} – показатель, входящий в состав производственного потенциала, баллов; k_{pvi} – коэффициент весомости показателя производственного потенциала.

$$\text{РП} = \sum_{i=1}^n x_{ri} \cdot k_{rvi} , \quad (4)$$

где РП – репутационный потенциал, баллов; x_{ri} – показатель, входящий в состав репутационного потенциала, баллов; k_{rvi} – коэффициент весомости показателя репутационного потенциала.

$$\text{ИП} = \text{ЧП} + \text{ПП} + \text{РП} , \quad (5)$$

где ИП – инновационный потенциал, баллов.

Из представленной методики расчета следует, что итоговые значения человеческого, производственного и репутационного потенциалов будут находиться в интервале $[-5;5]$; таким образом, значение интегрального показателя инновационного потенциала будет находиться в интервале $[-15;15]$. Поскольку показатель инновационного потенциала способствует определению возможностей и перспектив развития компании, автор полагает наличие отрицательных показателей необходимым условием оценки ИП, значения которых могут означать степень потенциальной неготовности к осуществлению инновационного проекта.

Автором разработана таблица интерпретации показателя инновационного потенциала, позволяющая определить потенциальную готовность компании к реализации стратегии развития.

Таблица 1. Интерпретация интегрального показателя инновационного потенциала
Table 1. Interpretation of the innovation potential's integral indicator

Значение ИП	Текущая характеристика
$[-15; -12]$	Потенциал определяется как критический. Значения всех структурных показателей падают ускоряющимися темпами. Необходимо принятие кардинальных мер по развитию элементов ИП, проведение реорганизации на всех уровнях.
$(-12; -3)$	Потенциал определяется как кризисный. Динамика большинства показателей ориентирована на снижение. Подобное состояние ИП свидетельствует об отсутствии условий для успешного протекания инновационного процесса.
$[-3; 0]$	Потенциал определяется как неудовлетворительный. Динамика ряда структурных показателей находится в стагнации. Уровень ИП недостаточен для обеспечения конкурентных преимуществ новой продукции компании.
$(0; 3]$	Потенциал определяется как удовлетворительный. Большая часть показателей сохраняет имеющуюся динамику: ее снижение у отдельных показателей компенсируется ее увеличением у других. Состояние ИП дает возможность повышать уровень инновационности продукции.
$(3; 12]$	Потенциал определяется как хороший. Большинству показателей присуща положительная динамика, однако существует вероятность наличия отрицательных значений. Подобный уровень ИП позволяет обеспечивать устойчивость уровня инновационного развития.
$(12; 15]$	Потенциал определяется как отличный. Значения всех структурных показателей растут ускоряющимися темпами. Состояние ИП свидетельствует о высокой эффективности ведения инновационной деятельности.

Преимущества предложенной методики в том, что ее применение позволяет:

- проводить всесторонний анализ состояния компании благодаря комплексной оценке показателей, структурные составляющие которых имеют различные величины измерения;
- оценивать потенциальную готовность предприятия к осуществлению инновационного проекта и вероятность эффективности его реализации;
- на основе динамики показателей определять перспективы и формировать стратегии развития компании;
- минимизировать фактор субъективности при выставлении баллов;
- учитывать разную степень влияния структурных показателей на результирующий;
- сравнивать показатели между компаниями отрасли.

Таким образом, расчет показателя инновационного потенциала дает возможность компании оперативно оценить свои возможности и готовность к реализации инновационных проектов, а также своевременно выявить «слабые места» и принять меры по их устранению, что увеличит эффективность ведения инновационной деятельности, обеспечит развитие компании и повышение ее конкурентоспособности.

Заключение

В настоящее время инновационный потенциал определяет возможности и перспективы развития предприятия и обуславливается наличием благоприятных условий, степенью подготовленности персонала и средств производства. Инновационный потенциал (ИП) – это способность предприятия к развитию, которая основывается на эффективности его деятельности. ИП составляют человеческий, производственный и репутационный

потенциалы, включающие в себя по шесть показателей, являющихся, по мнению автора, ключевыми при оценке инновационного потенциала компании.

Наличие и степень развития элементов инновационного потенциала предприятия определяют текущую готовность и будущую степень эффективности освоения новых технологий. Таким образом, можно сделать вывод, что оценка инновационного потенциала промышленного предприятия является необходимым этапом стратегического анализа и управления.

Изучив различные источники, автор предлагает методику измерения инновационного потенциала, которая представляет собой комбинацию расчетных и оценочных методов и основывается на результативном подходе, а именно – на динамике структурных показателей, поскольку наличие и степень развития элементов инновационного потенциала предприятия определяют текущую готовность и будущую степень эффективности освоения новых технологий.

Предлагаемая методика расчета, с точки зрения автора, охватывает все ключевые показатели процессов, влияющих на эффективность функционирования и дальнейшего развития предприятия. Систематическая оценка инновационного потенциала обеспечивает комплексный взгляд на предприятие, позволяющий определить его сильные стороны и своевременно выявить слабые места, а также создать на этой основе соответствующий план перспективного развития.

Список литературы

1. Нехорошева, Л. Н. Теория и практика экономики и управления инновациями: учебно-методическое пособие / Л. Н. Нехорошева и др. – Минск : УО «БГАТУ», 2013.
2. Апанасевич, М. В. Теоретические аспекты инновационного потенциала промышленного предприятия. / М. В. Апанасевич. // Научный форум: Экономика и менеджмент: сб. ст. по материалам XLVI международной научно-практической конференции. – М. : МЦНО, 2021. – № 1(46). – С. 44–49.
3. Апанасевич, М. В. Обзор методик оценки инновационного потенциала предприятия / М. В. Апанасевич // Вопросы управления и экономики: современное состояние актуальных проблем: сб. ст. по материалам XLIII Международной научно-практической конференции «Вопросы управления и экономики: современное состояние актуальных проблем». – М. : Интернаука, 2021. – № 1(41). – С. 28–35.
4. Ковалев, В. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия. / В. В. Ковалев, О. Н. Волкова. – М. : ТК Велби, Проспект, 2007. – С. 19–21, 383–397.
5. Матвейкин, В. Г. Инновационный потенциал: современное состояние и перспективы развития / В. Г. Матвейкин, С. И. Дворецкий, Л. В. Минтко, В. П. Таров. – М.: Машиностроение, 2007. – С. 7–12.
6. Сычев, М. И. Методические подходы к оценке экономического потенциала предприятия / М. И. Сычев // Вопросы экономики и права. – 2014. – № 5. – С. 87–94.
7. Зинченко, В. И. Принципы разработки и применения методики комплексной оценки инновационного потенциала промышленного предприятия / В. И. Зинченко, В. А. Монастырский, Е. П. Губин, А. Б. Пушкаренко, Г. И. Тюльков // Российский журнал менеджмента. – 2003. – №5. – С. 58–63.
8. Цуканова, Н. Е. Методы оценки инновационного потенциала производственных предприятий / Н. Е. Цуканова // Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки. – 2012. – №3. – С. 236–242.
9. Горбунов, В. Л. Методика оценки инновационного потенциала предприятия / В. Л. Горбунов, П. Г. Матвеев // Инновации. – 2002. – №8. – С. 67–69.
10. Шутилин, В. Ю. Конкурентный потенциал и конкурентные преимущества машиностроительного комплекса Республики Беларусь на современном этапе: ключевые индикаторы и тренды развития: монография / В. Ю. Шутилин. – Минск : БГЭУ, 2016.
11. Апанасевич, М. В. Оценка интеллектуального капитала промышленной компании: принципиальные подходы и инструменты / М. В. Апанасевич // Новая экономика – 2021. – №1 (77). – С. 12–20.

References

1. Nehorosheva, L.N. Teorija i praktika jekonomiki i upravljenja innovacijami: uchebno-metodicheskoe posobie. [Theory and practice of economics and innovation management] / L. N. Nehorosheva [i dr.]. Minsk : BGATU, 2013. (In Russ).
2. Apanasevich, M. V. Teoreticheskie aspekty innovacionnogo potenciala promyshlennogo predpriyatija. Nauchnyj forum: Jekonomika i menedzhment: sb. st. po materialam XLVI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Scientific Forum: Economics and Management: A Collection of Articles on the

- Materials of the XLVI International Scientific and Practical Conference]. – M. : MCNO, 2021. – No 1(46). – P. 44–49. (In Russ.).
3. Apanasevich, M. V. Obzor metodik ocenki innovacionnogo potenciala predpriyatija. / M. V. Apanasevich // Voprosy upravlenija i jekonomiki: sovremennoe sostojanie aktual'nyh problem: sb. st. po materialam XLIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Voprosy upravlenija i jekonomiki: sovremennoe sostojanie aktual'nyh problem». [Issues of Management and Economics: Current State of Actual Problems: Based on the Materials of the XLIII International Scientific and Practical Conference "Management and Economics: Current State of Actual Problems"]. – M. : Internauka, 2021. – No 1(41). – P. 28–35. (In Russ.).
 4. Kovalev, V. V. Analiz hozjajstvennoj dejatel'nosti predpriyatija: uchebnik [Analysis of the economic activity of the enterprise]. / Kovalev, V. V., Volkova O. N. – M. : TK Velbi, Prospekt, 2007. – P. 19–21, 383–397. (In Russ.).
 5. Matvejkin, V. G., Dvoreckij, S. I., Mintko, L.V., Tarov, V. P. Innovacionnyj potencial: sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija. [Innovative potential: current state and development prospects], M. : Mashinostroenie. 2007. – 284 p. – P. 7–12. (In Russ.).
 6. Sychev, M. I. Metodicheskie podhody k ocenke jekonomicheskogo potenciala predpriyatija. / M. I. Sychev // Voprosy jekonomiki i prava. [Issues of Economics and Law]. – 2014. – No 5. – P. 87–94. (In Russ.).
 7. Zinchenko, V. I. Principy razrabotki i primenenija metodiki kompleksnoj ocenki innovacionnogo potenciala promyshlennogo predpriyatija. / V. I. Zinchenko, V. A. Monastyrnij, E. P. Gubin, A. B. Pushkarenko, G. I. Tjul'kov. // Rossijskij zhurnal menedzhmenta. [Russian Journal of Management]. – 2003. – No. 5. – P. 58–63. (In Russ.).
 8. Cukanova, N. E. Metody ocenki innovacionnogo potenciala proizvodstvennyh predpriyatij. / N. E. Cukanova // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Jekonomicheskie i juridicheskie nauki. [Proceedings of Tula State University. Economic and legal sciences]. – 2012. – No 3. – P. 236–242. (In Russ.).
 9. Gorbunov, V. L. Metodika ocenki innovacionnogo potenciala predpriyatija. Innovacii. [Innovation]. – 2002. – No 8. – P. 67–69. (In Russ.).
 10. Shutilin, V. Ju. Konkurentnyj potencial i konkurentnye preimushhestva mashinostroitel'nogo kompleksa Respubliki Belarus' na sovremennom jetape: kljuचेvye indikatory i trendy razvitija: monografija [Competitive potential and competitive advantages of the machine-building complex of the Republic of Belarus at the present stage: key indicators and development trends: monograph] / V. Ju. Shutilin. – Minsk : BGJeU, 2016. – 223 p. (In Russ.).
 11. Apanasevich, M. V. Ocenka intellektual'nogo kapitala promyshlennoj kompanii: principial'nye podhody i instrumenty / M. V. Apanasevich // Novaya ekonomika [New Economy], 2021. – No 1 (77). – P. 12–20.

Сведения об авторе

Апанасевич М. В., аспирант Белорусского государственного экономического университета, специалист Центра системного анализа Белорусского государственного экономического университета.

Information about the author

Apanasevich M. V., Postgraduate at the Belarusian State Economic University, Specialist of the Center for System Analysis of Belarus State Economic University.

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Партизанский, 26,
Белорусский государственный
экономический университет
e-mail: maryiap31@gmail.com
Апанасевич Мария Викторовна

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Partizansky Ave., 26,
Belarus State Economic University
e-mail: maryiap31@gmail.com
Apanasevich Maryia Viktorovna



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-14-22>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 336.76

СРАВНЕНИЕ ПРИВЛЕЧЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ ЧЕРЕЗ *ICO* И *IPO* В МЕЖДУНАРОДНОЙ ПРАКТИКЕ

Ю. Ю. РОМАНОВСКИЙ

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

Поступила в редакцию 25 апреля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Развитие новых технологий в сфере финансов (финтех) создает новые возможности и способы осуществления экономической деятельности. Одним из таких инструментов является блокчейн и технологии, созданные на его основе. Одним из самых известных таких инструментов является процесс выпуска и продажи цифровых знаков (токенов), называемый Initial Coin Offering (*ICO*). Процесс проведения *ICO* зачастую ошибочно рассматривают как более простую и быструю альтернативу классической процедуре *IPO*. Однако данные процедуры имеют больше различий, чем сходств. В данной статье приведено детальное сравнение *IPO* и *ICO* по ряду основных параметров, указаны ключевые сходства и различия с точки зрения как инвестора, так и эмитента. В финальной части статьи даны рекомендации по выбору инструмента в зависимости от целей инвестора и эмитента.

Ключевые слова: *ICO*, токен, инвестиция, финансовый инструмент, *IPO*.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Романовский Ю. Ю. Сравнение привлечения инвестиций через *ICO* и *IPO* в международной практике. *Цифровая трансформация*. 2022; 28(2): 14-22.

COMPARISON OF ATTRACTING INVESTMENTS THROUGH *ICO* AND *IPO* IN INTERNATIONAL PRACTICE

YURY Y. RAMANOUSKI

Belarusian State economic university (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 25 April 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The development of new technologies in the field of finance (fintech) creates new opportunities and ways to carry out economic activity. One of these tools is blockchain and technologies created on its basis. One of the most famous of such tools is the process of issuing and selling digital coins (tokens), called Initial coin offering (*ICO*). The *ICO* process is often mistakenly viewed as a simpler and faster alternative to the classic *IPO* procedure. However, these procedures have more differences than similarities. This article provides a detailed comparison of *IPO* and *ICO* in terms of a number of key parameters, key similarities and differences

from the point of view of both the investor and the issuer. At the end, there are recommendations for choosing an instrument depending on the goals of the investor and the issuer.

Keywords: *ICO*, token, investment, financial instrument, *IPO*.

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

For citation. Ramanouski Y.Y. Comparison of Attracting Investments Through *ICO* and *IPO* in International Practice. *Digital Transformation*. 2022; 28(2): 14-22.

Введение

Стремительное развитие технологий влияет на процессы во всех сферах экономики. Одной из наиболее перспективных, на сегодняшний момент, цифровых технологий является система распределенного реестра (блокчейн).

Блокчейн получил распространение благодаря первому удачному применению – для криптовалюты. Самой известной криптовалютой на сегодняшний день является биткойн, который также называют «цифровым золотом» ([https://www.academia.edu/37518597/ Поппер_Н_Цифровое_золото_Невероятная_история_биткойна](https://www.academia.edu/37518597/Поппер_Н_Цифровое_золото_Невероятная_история_биткойна)). Блокчейн представляет собой распределенный реестр хранения данных, где каждый пользователь хранит всю базу данных целиком. Это позволяет строить процессы без роли центрального посредника, отвечающего за сохранность, актуальность и неизменность записей. В частности, на основе технологии блокчейн активно развивают новые инструменты привлечения инвестиций. Самым известным и популярным из таких инструментов является *ICO* (Initial Coin Offering – первичное предложение монет).

В законодательстве Республики Беларусь *ICO* определяется как процесс эмиссии токенов. Токен (цифровой знак) – запись в реестре блоков транзакций (блокчейне), иной распределенной информационной системе, которая удостоверяет наличие у владельца цифрового знака (токена) прав на объекты гражданских прав и (или) является криптовалютой¹.

В международной практике существуют различные подходы к определению и классификации токенов и процесса *ICO*. Из анализа² можно выделить следующие подходы к регулированию *ICO*.

1. Позиция регуляторов и законодательная база не сформирована либо находится в процессе формирования.

2. Полный запрет на операции, связанные с токенами (Индия, Бангладеш, Китай).

3. Благоприятное отношение (Эстония, Литва, Словакия, Беларусь, Япония). В этих странах токены не считаются ценными бумагами или финансовыми инструментами. Проводить *ICO* в таких странах намного проще из-за отсутствия значительных законодательных барьеров. Тем не менее, при проведении *ICO* в ряде таких стран (например, Эстонии и Японии) требуется соблюдение принципов Know Your Client («Знай своего клиента») и Anti-Money Laundering (противодействие «отмыванию денег»).

4. Осторожное отношение (большинство развитых стран, включая США, Канаду, Францию и др.). В этих странах в ряде случаев токен может быть признан ценной бумагой либо финансовым инструментом. Регулятор может ограничивать или запрещать продажу токенов, если нормы законодательства о ценных бумагах не выполняются. Наибольшего успеха в регулировании достигли такие страны, как Германия, Италия, Франция, Швейцария, США. Далее их подходы к регулированию будут рассмотрены детальнее.

Управление финансового рынка Франции (*AMF*) определяет *ICO* как транзакцию по сбору средств, осуществляемую с использованием технологии блокчейн, при помощи выпуска токенов.

¹ О развитии цифровой экономики [Электронный ресурс]: Декрет Президента Респ. Беларусь, 21 дек. 2017 г., № 8 // Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2002. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=Pd1700008&p1=1&p5=0/>. – Дата доступа: 16.02.2020.

² *ICO Regulation & Compliance: Legal Frameworks and regulation for ICOs* [Electronic resource] – 2021. – Mode of access: <https://www.pwc.ch/en/industry-sectors/financial-services/fs-regulations/ico.html/> – Date of access: 03.02.2021.

Эти токены могут затем использоваться для получения товаров или услуг – в зависимости от обстоятельств³. Согласно действующим во Франции нормам, эмитент обязан лицензировать *ICO*, подпадающие под приведенные выше определения, если токены предназначены для публичной продажи⁴.

Также действующие нормы *AMF* различают *ICO* и Security Token Offering (*STO*). Согласно законодательству, *ICO* признается продажа токенов для сбора средств на товары и услуги. *STO* представляет собой продажу финансовых инструментов в виде токенов. При проведении *STO* к токенам применяются нормы по регулированию ценных бумаг и необходима обязательное лицензирование *AMF*⁴.

Регулирование *ICO* в США является сложной системой из-за федеральной структуры государства (отличия законодательных актов в различных штатах), наличия ряда регулирующих органов, а также применения прецедентного права. Комиссия по ценным бумагам и биржам в 2017 г. опубликовала разъяснение, согласно которому токены, выпущенные в ходе проведения *ICO*, признаются ценными бумагами, если удовлетворяют следующим четырем признакам:

- это инвестирование денег;
- это инвестиции в общее предприятие (долевое);
- есть ожидание прибыли от инвестиций;
- при этом ожидаемая прибыль является результатом деятельности лица, предлагающего контракт, либо третьей стороны^{5,6}.

Если *ICO* соответствует данным признакам, то эмитент должен: зарегистрировать токены в *SEC*, раскрыть бизнес-цели, описание токенов, информацию об управлении предприятием и финансовую отчетность, а также предоставить инвесторам точное описание продукта, для которого привлекаются инвестиции.

В Швейцарии *ICO* регулирует FINMA (Swiss Financial Market Supervisory Authority – Управление надзора за операциями финансового рынка Швейцарии). FINMA выделяет четыре вида токенов:

- платежные токены (payment tokens). Включают в себя классические криптовалюты и токены, которые можно использовать в качестве платежных средств;
- токены полезности (utility tokens). Токены, которые можно обменять на продукт или услугу в конкретной экосистеме, занимавшейся эмиссией;
- имущественные токены (asset tokens). Является аналогом токена-ценной бумаги в швейцарском законодательстве и представляет токенизированную ценную бумагу;
- гибридные формы.

FINMA анализирует каждый *ICO* и в зависимости от сущности токена оценивает необходимость применения закона о финансовых рынках, банках или «отмывании денег». В Германии BaFin (Bundesanstalt für Finanzdienstleistungsaufsicht – Федеральное управление финансового надзора Германии) классифицирует токены как финансовые инструменты. Регулирование, применяемое к токенам, зависит от прав, которые они в себя включают. Если токен подразумевает права собственности на актив, то применяются законы Германии о ценных бумагах. Также BaFin отмечает, что к гражданам Германии, владеющим токенами, не обязательно может быть применено соответствующее законодательство страны. Чтобы токен подпадал под действие немецких законов о ценных бумагах, он должен рекламироваться и распространяться на территории Германии. BaFin рассматривает каждый выпуск токена отдельно на принадлежность к финансовым инструментам².

³ Listed companies & corporate financing: Initial Coin Offering (ICO) [Electronic resource]. 2019. Mode of access: https://www.amf-france.org/en_US/Acteurs-et-produits/Societes-cotees-et-operations-financieres/Offres-au-public-de-jetons-ICO – Date of access: 03.02.2020.

⁴ France adopts new crypto regulations [Electronic resource]. 2019. Mode of access: <https://news.bitcoin.com/france-cryptocurrency-regulation/> – Date of access: 03.02.2020.

⁵ Securities exchange act of 1934, Release No. 81207 / July 25, 2017 Report of Investigation Pursuant to Section 21(a) of the Securities Exchange Act of 1934: The DAO [Electronic resource]: The United States Securities and Exchange Commission. Mode of access: <https://www.sec.gov/litigation/investreport/34-81207.pdf>. - Date of access: 19.02.2020

⁶ Особенности правового регулирования ICO в США [Электронный ресурс]. 2019. Mode of access: <https://prifinance.com/articles/regulirovanie-ico-v-usa/> – Дата доступа: 03.02.2020.

Зачастую *ICO* рассматривают как более технологичную и простую, с процедурной точки зрения, альтернативу *IPO*. Однако эти процессы имеют больше различий, чем сходств, которые следует учитывать потенциальным инвесторам.

IPO – первая публичная продажа акций акционерного общества, в том числе в форме продажи депозитарных расписок на акции, неограниченному кругу лиц. После проведения *IPO* компания становится публичной, что имеет как достоинства, так и недостатки. Публичность и привлечение акционерного капитала требуют соблюдения ряда условий и требований. Как правило, данную процедуру проводят крупные компании, осуществляющие деятельность длительное время. После проведения *IPO* такие компании регулярно предоставляют финансовую отчетность и результаты деятельности (Листинг в США. Руководство по размещению акций на NASDAQ и NYSE [Электронный ресурс] – 2021. <https://www.pwc.com/kz/ru/capital-markets/listing-nasdaq-nyse.html> – Дата доступа: 03.02.2021.)

Процесс *IPO* зависит от страны проведения, но в целом эмитенту требуется пройти согласование с регулируемыми органами и листинг биржи. Основные существенные характеристики *ICO* и *IPO* приведены в табл. 1. Из табл. 1 можно сделать вывод, что процессы *ICO* и *IPO* имеют больше различий, чем сходств, по всем основным параметрам сравнения. Далее будут рассмотрены основные характеристики и этапы привлечения инвестиций с помощью *IPO* и *ICO* и описаны сходства и различия данных процессов.

Таблица 1. Основные существенные характеристики *ICO* и *IPO*
Table 1. Main essential characteristics of *ICO* and *IPO*

Критерий (Criterion)	<i>ICO</i>	<i>IPO</i>
Технологическая основа	Платформа оператора криптовалют на основе блокчейн	Платформа выбранной фондовой биржи, профессионального участника рынка ценных бумаг
Привлекаемые инвестиции	Фиатные деньги; Криптовалюта;	Акционерный капитал
Выпускаемые инструменты и формы привлечения средств	Токен, который может являться — займом; — долей прибыли; — пожертвованием; — бартерным обменом; — платой за товар или услугу; — получением бонусов (скидок); — платной регистрацией в приложении на основе блокчейн; [2, с. 105]	Акция – долевой финансовый инструмент
Способ эмиссии токенов	Обмен токенов на фиатные деньги либо на криптовалюту	Размещение акций на фондовых биржах
Где проводится эмиссия	Эмитент может провести выпуск токенов самостоятельно либо при посредничестве криптоплатформ	Фондовая биржа. Эмиссия проводится при посредничестве профессионального участника рынка ценных бумаг, иногда с привлечением андеррайтеров
Обязательства эмитента и защита инвестора	Если токен имеет признаки ценной бумаги (облигации, акции, и т.д.), то в ряде стран на такие токены распространяются соответствующие нормы законодательства о ценных бумагах (в США, Германии, и т.д.). В иных случаях эмитент не несет обязательств по раскрытию информации, применению корпоративного управления	Эмитент становится публичной компанией и обязан раскрывать финансовую информацию и соответствовать требованиям корпоративного управления. Инвестор получает соответствующую долю в компании
Стоимость и время проведения	Не требует больших затрат. Может быть проведена эмитентом самостоятельно либо с помощью специальных площадок	<i>IPO</i> – дорогостоящий (как правило, несколько миллионов долларов) и длительный по времени процесс

Сравнение *IPO* и *ICO* по основным параметрам

На рис. 1 приведено сравнение количества проведенных *IPO* и *ICO* в мире с 2018 по первый квартал 2021 г. На рис. 2 приведены суммы привлеченных средств в ходе *IPO* и *ICO* во всем мире (в млрд долларов) за аналогичный период.



Рис. 1. Количество проведенных *IPO* и *ICO* во всем мире
Fig. 1. Number of *IPOs* and *ICOs* held worldwide



Рис. 2. Привлеченные средства (в млрд долларов) во всем мире
Fig. 2. Funds raised (in billions of dollars) worldwide

Из рис. 1 и 2 следует, что *IPO* – намного более популярный инструмент. Эмитенты намного чаще выпускали акции, чем токены, а инвесторы вкладывали значительно больше средств в покупку акций. Кроме того, на рис. 3 приведена средняя сумма привлеченных инвестиций в *IPO* и *ICO* во всем мире. Из рисунка следует, что в ходе *IPO* привлекается в разы больше средств, чем в ходе *ICO*. Это может свидетельствовать о больших рисках инвесторов при покупке токенов по сравнению с покупками акций, а также об отличии эмитентов.

В случае *IPO* – это крупные корпорации, привлекающие значительные суммы средств. В *ICO* же речь, скорее, идет про мелкий и средний бизнес, выбравший по тем или иным причинам нетрадиционный способ привлечения средств.

С точки зрения объекта инвестирования, акция и токен различаются фундаментально. Акция – это именная эмиссионная ценная бумага, свидетельствующая о вкладе в уставный фонд акционерного общества, эмитируемая на неопределенный срок в бездокументарной форме и удостоверяющая определенный объем прав владельца в зависимости от ее категории (простая (обыкновенная) или привилегированная), типа (для привилегированной акции)⁷.

Акция является ценной бумагой, т. е. это документ либо совокупность определенных записей, удостоверяющих с соблюдением установленной формы и (или) обязательных

⁷ О рынке ценных бумаг: Закон Республики Беларусь, 5 января 2015 г., № 231-3; с измен. и доп.: Закон Республики Беларусь от 9 июля 2021 г. // Эталон-Беларусь [Электронный ресурс] / Национальный Центр правовой информации Республики Беларусь. – Минск, 2021

реквизитов имущественные и неимущественные права. С передачей ценной бумаги переходят все удостоверяемые ею права в совокупности⁸.

Также акции – это эмиссионные ценные бумаги и, таким образом, обладают дополнительными свойствами: размещаются выпусками и имеют равные объем и сроки осуществления прав в рамках одного выпуска вне зависимости от времени приобретения акции этого выпуска⁷.



Рис. 3. Средняя сумма привлеченных средств (в млн долларов) во всем мире
Fig. 3. Average amount of funds raised (in million dollars) worldwide

Инвестор, купивший акцию, может получить два вида дохода: дивиденды – периодические выплаты по акции; прирост курсовой стоимости акции. Если размер дивидендов зависит от результатов деятельности акционерного общества и его дивидендной политики, то прирост курсовой стоимости коррелирует с накоплением капитала акционерным обществом в процессе его деятельности.

В свою очередь токен, согласно действующему белорусскому законодательству, признается активом и не является ценной бумагой² [пп. 3.3, 3.4]. Следовательно, инвестор, покупающий токен, не приобретает права, аналогичные правам владельца акции, вне зависимости от типа акции. Например, владелец токена не имеет права голоса на собрании акционеров, не может получать дивиденды, не имеет права на часть ликвидационной стоимости, и т. д. Если иное не прописано в условиях выпуска *ICO*, инвестор может рассчитывать только на доход от изменения стоимости токена на вторичном рынке. Следовательно, инвесторы, приобретающие токены, с большей вероятностью совершают спекулятивные сделки, поскольку не рассчитывают на долгосрочные дивидендные выплаты. Кроме того, токен не имеет однозначного экономического определения.

В зависимости от конкретного вида *ICO* токен по своей экономической сути может быть: займом; облигацией; долей прибыли; пожертвованием; бартерным обменом; платой за товар или услугу; бонусом; платной регистрацией на некоторой платформе (например, доступ к игре на платформе блокчейн) [1, с. 105].

Таким образом инвестор при покупке акции однозначно знает объем своих прав и обязанностей эмитента (согласно действующему законодательству). При покупке токена на криптобирже необходимо изучать условия *ICO* и определять, чем является данный конкретный токен с экономической точки зрения.

При проведении процедуры *IPO* компания становится публичной. Публичная компания обязана раскрывать информацию, которая до этого являлась конфиденциальной. В частности, правила *SEC* требуют:

- 1) предоставления годовой финансовой отчетности за два года, прошедшую внешний аудит;
- 2) подтверждение оценки эффективности внутреннего контроля за подготовкой финансовой отчетности компании (соблюдение закона «Закон Сарбейнса-Оксли») ⁶.

⁸ Гражданский кодекс Республики Беларусь: Кодекс Респ. Беларусь, 7 дек. 1998 г.; № 218-3; ст. 143; в ред. Закона Респ. Беларусь от 5.01.2021 г. // Консультант плюс: Беларусь [Электрон. ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2021

Финансовую отчетность в дальнейшем следует предоставлять в SEC на регулярной основе и после проведения эмиссии. Кроме того, свои ограничения на эмитентов накладывают сами биржи. Например, по правилам NYSE доход от продолжающейся деятельности до налогообложения и после учета доли меньшинства, амортизации и доли в прибыли или убытке объектов инвестиций (с учетом определенных корректировок) должен в целом составлять не менее 10 млн долл. США в совокупности за последние три финансовых года; при этом в каждом из двух последних финансовых лет доход должен составлять не менее 2 млн долл. США, а по всем трем годам суммы должны быть положительными.

Процесс подготовки эмиссии акций занимает значительное время, в ходе которого эмитент внедряет стандарты корпоративного управления, в состав совета директоров вводятся независимые директора, деятельность компании проходит аудит. Кроме того, IPO требует больших денежных затрат. Подготовка публичного размещения требует привлечения большого количества сторонних организаций, таких как юридические фирмы, аудиторы и маркетологи, каждая из которых требует оплаты деятельности. Таким образом, инвестор перед принятием решения о приобретении акции может ознакомиться с финансовыми показателями эмитента и на основе открытых данных принять решение об инвестициях.

ICO можно провести очень быстро, за несколько дней. Эмитент не обязан проходить аудит либо изменять систему управления компании. Кроме того, ICO можно произвести практически без затрат силами эмитента. Во время проведения ICO отсутствуют требования по раскрытию финансовой и иной информации. При покупке токена инвестор не имеет возможности из открытых источников получить информацию о состоянии эмитента и риск потери средств таким образом повышается.

В процессе эмиссии акций формируется специальная команда экспертов, которая, как правило, включает:

- 1) андеррайтера;
- 2) юридическую фирму;
- 3) аудиторскую фирму;
- 4) PR-агентство [3, гл. 4].

Главную роль в размещении акций играет андеррайтер, являющийся финансовым посредником между эмитентом и биржей. Андеррайтер готовит основной документ IPO – проспект эмиссии, содержащий основную информацию. Содержание проспекта эмиссии регулируется соответствующими контролирующими органами страны размещения акций. Как минимум, проспект эмиссии содержит финансовые показатели эмитента и информацию о выпуске акций: объем, срок, условия и порядок размещения.

При проведении ICO необязательно привлекать сторонних специалистов. Перед проведением ICO эмитент публикует так называемый «Whitpaper». Это основной документ проекта, содержащий детали ICO и информацию о выпускаемых токенах. Whitpaper составляется в свободной форме, его содержание не регламентируется. Для инвестора более информативным является проспект эмиссии. В нем подробно и прозрачно указаны все основные сведения для принятия решения об инвестициях. Whitpaper может не содержать всей необходимой информации.

Перед продажей акции, выпущенные в ходе IPO, проходят процедуру листинга на бирже – допуска к торгам. Соответственно, акции будут торговаться на той площадке, где был проведен листинг. Существуют различные способы продажи выпущенных акций. Обычно андеррайтер предварительно собирает заявки, исходя из которых бумаги будут распределяться инвесторам.

Токены в общем случае не обязаны проходить процедуру листинга площадок перед продажей. Однако существует разновидность данного процесса, называемая IEO. В случае, когда ICO проводится криптоплатформой, то есть токены и эмитент предварительно проходят проверку и листинг биржи, занимающейся выпуском, ICO называется IEO (Initial Exchange Offerings). Единственным отличием IEO от ICO является наличие посредника (криптоплатформы) между эмитентом и инвесторами.

Существуют различные способы первичной продажи токенов, аналогичные продаже акций. С помощью платформы блокчейн можно внедрить практически любой процесс распределения токенов между инвесторами. Для инвестора нет существенных различий в процессе покупки как первичного размещения акций, так и первичного размещения токенов. В данной процедуре стоит обращать внимание на эмитента и площадку, на которой будет

происходить продажа. Единственным различием является то, что покупка токенов осуществляется за криптовалюту (как правило, биткоин либо эфир, но возможно создание специальной криптовалюты проекта), продажа акций происходит за фиатные деньги.

Рынок торговли акциями организован намного более сложно, чем рынок токенов. Так, на рынке акций осуществляется следующая *профессиональная деятельность*: брокерская; дилерская; по управлению ценными бумагами; по определению взаимных обязательств (клиринг); депозитарная; по ведению реестра владельцев ценных бумаг; по организации торговли на рынке ценных бумаг (биржа) [2, гл. 5].

В силу особенности функционирования платформы блокчейн и хранения в ней информации такие функции, как депозитарная деятельность, ведение реестра владельцев и клиринг в них не требуются. Такая структура рынка упрощает торговлю токенами, поскольку уменьшает количество посредников, но также и сужает возможности инвесторов. Например, отсутствие депозитария не позволяет заключать соглашения РЕПО или брать токены в кредит.

Акции – достаточно ликвидный актив. При необходимости их можно продать за фиатные деньги на той же бирже, где они были размещены. На вторичном рынке андеррайтер также играет значительную роль, являясь маркет-мейкером и не допуская резкого изменения цен на акции, особенно в первое время после *IPO*. Так как токены не проходят листинг, то в общем случае (если это не *IEO*) они не всегда попадают на криптоплатформы после проведения *ICO* и могут существовать только в инфраструктуре эмитента. Следовательно, инвестор имеет шансы вложиться в неликвидный актив, который он не сможет оперативно продать при возникновении такой необходимости.

Инвестор, вложивший средства в токены, защищен от потери средств намного меньше, чем тот, кто купил акции. На вторичном рынке криптоактивов нет законодательной защиты от манипулирования ценами. Например, спекулянты могут искусственно изменять цены на токены. На фондовых биржах инвесторы защищены от резкого изменения цен на акции. Кроме того, право собственности на токен подтверждается секретным ключом, без идентификации личности, что влечет риск потери инвестиций в результате взлома компьютера или потери пароля.

С точки зрения инвестирования средств, приобретение токена является более рискованным. При инвестировании в акции существуют следующие основные категории рисков: кредитный; рыночный; ликвидности; операционный.

Эти же риски существуют и на рынке токенов, однако их наступление имеет большую вероятность из-за следующих факторов: 1) при проведении *ICO* эмитент не обязан раскрывать финансовую отчетность, что не дает оценить его способность выполнять обязательства; 2) вероятность вложения средств в изначально мошеннический проект; 3) высокая волатильность токенов; 4) вероятность хакерской атаки на биржу или потери контроля над виртуальным кошельком, являющимся единственным удостоверением права собственности на токен [3]; 5) отсутствие единого подхода к регулированию и эффективного межгосударственного контроля.

Эти обстоятельства делают инвестирование в *ICO* намного более рискованным по сравнению с *IPO*.

Выводы

Процедуры *IPO* и *ICO* значительно различаются практически по всем параметрам: процесс эмиссии, законодательное регулирование, объект инвестирования. Акция и токен имеют разное назначение и привлекают внимание различных групп инвесторов. Подготовка и проведение *IPO*, как правило, требует от полугода времени и существенных затрат ресурсов на аудит, маркетинг, юридические консультации и т. д. Эта процедура существенно влияет на структуру капитала эмитента. Она подходит для привлечения средств крупным компаниям, показывающим хорошие финансовые результаты. Покупка акций может являться долгосрочной фундаментальной инвестицией, позволяющей принимать участие в деятельности компании.

С точки зрения инвестора рынок акций представляется менее рискованным вложением средств в следующих случаях:

1) правовой статус акции значительно отличается от статуса токена. Владелец акций является владельцем соответствующей доли предприятия. Владелец акции также может рассчитывать на дивиденды;

2) перед покупкой акции инвестор в открытом доступе может получить информацию об эмитенте и его финансовом положении. Для покупателя токенов такая информация недоступна;

3) акции являются более ликвидным активом. При необходимости их можно оперативно продать на бирже, в отличие от токенов, которые могут не вызывать интереса на вторичном рынке при неудачном выборе объекта инвестирования.

ICO – это новый инновационный финансовый инструмент, позволяющий малым и средним предприятиям быстро привлечь средства для финансирования инвестиционных проектов. Провести размещение токенов можно самостоятельно за несколько дней без значительных финансовых затрат. Эта процедура подходит для небольших компаний, стартапов, финансирования новых продуктов или социальных проектов, которые не имеют иных возможностей привлечения капитала.

Использование платформы блокчейн позволяет разнообразить процесс инвестирования и создавать токены, имеющие необходимую экономическую сущность в каждом конкретном случае. Также платформа позволяет сократить количество посредников и упростить движение финансовых потоков, что, однако, увеличивает риски и волатильность инструмента.

В настоящее время токены являются более рискованным вложением средств, чем классические финансовые инструменты: из-за различий законодательного регулирования, отсутствия информации о финансовых результатах эмитента, недостаточного развития вторичного рынка токенов.

Список литературы

1. Volosyanov N. Reasonable investments in cryptocurrency: monograph / N. Volosyanov. – М. : 1000 bestsellers, 2019.
2. Галанов В. А. Рынок ценных бумаг. – М. : ИНФРА-М. – 2007.
3. Галушкин А. А. К вопросу о кибертерроризме и киберпреступности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия : Юридические науки. 2014. № 2. С. 44–49.

References

1. Volosyanov N. Reasonable investments in cryptocurrency: monograph / N. Volosyanov. – М. : 1000 bestsellers, 2019.
2. Galanov V.A. Securities Market. – М. : INFRA-M. – 2007.
3. Galushkin A. A. On the issue of cyberterrorism and cybercrime // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series : Legal Sciences. 2014. No. 2. P. 44–49.

Сведения об авторах

Романовский Ю. Ю., аспирант кафедры денежного обращения, кредита и фондового рынка Белорусского государственного экономического университета.

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
Минск, Партизанский проспект, 26,
Белорусский государственный экономический университет, кафедра денежного обращения, кредита и фондового рынка;
тел. +375-17-209-78-59;
e-mail: yu.yu.romanovsky@gmail.com
Романовский Юрий Юрьевич

Information about the authors

Ramanouski Y. Y., Postgraduate at the Department of Money Circulation, Credit and Stock Market of the Belarusian State University of Economics.

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Partizanski Ave., 26,
Belarusian State Economic University,
Department of Money Circulation, Credit and Stock Market;
tel. +375-17-209-78-59;
e-mail: yu.yu.romanovsky@gmail.com
Ramanouski Yury Yur'evich



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-23-32>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 65.011.12

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТА REP:GRID ДЛЯ АНАЛИЗА ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ЦЕННОСТЕЙ БЕЛОРУССКИХ КОМПАНИЙ

Р. И. МОРОЗОВ, Е. Л. КОСЯК

ООО «Ассесмент» (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 4 июня 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. В статье рассматриваются значение ценностей компаний, факторы их формирования в белорусском контексте, а также использование информационно-аналитического инструмента Rep:grid для их анализа. Цель исследования – выявить с использованием метода «репертуарных решеток» и инструмента Rep:grid, на каких ценностях базируется успех белорусских производственных экспортоориентированных компаний. В статье приведены результаты, полученные на основе анализа 20 структурированных интервью с собственниками компаний. Полученные данные свидетельствуют о том, что их успех базируется на таких организационных ценностях как эффективность, ориентация на глобальный рынок и близость к клиенту.

Ключевые слова: информационно-аналитическая система, организационные ценности, организационная культура, белорусский бизнес, метод «репертуарных решеток».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Морозов Р. И., Косяк Е. Л. Применение информационно-аналитического инструмента Rep:grid для анализа организационных ценностей белорусских компаний. *Цифровая трансформация.* 2022; 28(2): 23-32.

THE USE OF THE ANALYTICAL TOOL REP:GRID FOR THE ANALYSIS OF BELARUSIAN COMPANIES' VALUES

RADZIVON I. MAROZAU, ELENA L. KOSYAK

LLC «Assessment» (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 4 June 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The paper discusses the significance of a company's values, factors of their formation in the Belarusian context as well as the use of the analytical tool Rep:grid for their analysis. The purpose of the study is to identify, what companies' values pre-condition the success of Belarusian export-oriented manufacturing companies

by applying the repertoire grid technique. The paper presents the analysis of 20 structured interviews with company owners. The obtained results demonstrate that their success is based on such organizational values as efficiency, orientation to the global market, and engagement with customers.

Keywords: information and analytical system, organizational values, organizational culture, Belarusian business, repertoire grid technique.

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

For citation. Marozau R. I., Kosyak E. L. The Use of the Analytical Tool Rep:grid for the Analysis of Belarusian Companies' Values. *Digital Transformation*. 2022; 28(2): 23-32.

Введение

Формирование и эффективное управление организационной культурой компании в среднесрочной перспективе дает ей конкурентное преимущество и закладывает фундамент для устойчивого развития в долгосрочной перспективе. Сильная организационная культура предполагает, что ценности разделяются и активно поддерживаются сотрудниками, что позволяет использовать человеческий капитал для достижения целей компании наиболее эффективным образом.

Основой и инструментом для операционализации организационной культуры являются ценности, исследование которых начиналось с уровня индивидуумов, а теперь фокусируется на коллективных ценностях (компании, социальные группы, страны) [1–3]. Как следствие, интерес у управленцев и исследователей вызывает изучение ценностей, способствующих повышению конкурентоспособности компаний и целых секторов национальной экономики. При этом, нужно признать, что методология и инструментарий для количественного анализа ценностей (и в целом организационной культуры) недостаточно разработан. Как следствие – информационно-аналитические системы для проведения такого анализа пока не получили широкого распространения.

Под ценностями компании чаще всего понимаются значимые, общепринятые и разделяемые руководством и сотрудниками убеждения и принципы, которые компания отстаивает и на которых она базируется. По мнению собственников и руководителей бизнеса, двумя основными каналами, через которые ценности влияют на конкурентоспособность и рост компании, являются внутреннее и внешнее взаимодействие, а также репутация [4]. Ценности компании, являющиеся привлекательными и разделяемыми для уже нанятых и потенциальных сотрудников, сами по себе могут являться фактором конкурентоспособности, по крайней мере, на рынке найма персонала, а также закладываются в основу бизнес-стратегии.

Что касается внешней среды компании, то артикуляция и неуклонное следование своим ценностям формирует определенную репутацию в глазах клиентов, поставщиков, кредиторов и других заинтересованных сторон. При этом важно отметить, что бывает справедлива и обратная взаимосвязь: изменчивость внешней среды оказывает влияние на стратегию и бизнес-модель компании, что может приводить к необходимости трансформации организационной культуры [5]. Тем не менее, исследования демонстрируют положительную связь финансовых результатов компании со следованием компанией таким ценностям, как адаптивность, стремление к успеху и ответственность перед сотрудниками [4].

Также во многочисленных исследованиях ценностей и организационной культуры компании доказывается, что на их формирование влияют неформальные институциональные факторы на уровне регионов и стран (менталитет, культура, нормы поведения религия и др.), специфика и динамика отрасли, в которой работает компания, а также этап жизненного цикла компании [6]. Например, в экономиках, часто переживающих кризисы, для многих компаний важными ценностями являются адаптивность и гибкость. В зрелых компаниях положительный эффект могут иметь коллективистские ценности, а в стартапах – инновационность и скорость [7]. В этой связи вызывает интерес исследование ценностей компаний, по результатам которого можно было бы делать выводы о возможном поведении компаний в будущем, а также о том,

развитие таких организационных ценностей важно для формирования конкурентных преимуществ белорусского производственного бизнеса.

Целью исследования является выявление, с использованием метода «репертуарных решеток» и инструмента Rep:grid, того, на каких ценностях базируется успех белорусских производственных экспортоориентированных компаний.

Формирование ценностей белорусского бизнеса

В отличие от большинства развитых стран с многовековыми традициями ведения бизнеса, системы ценностей белорусских компаний формируются всего три десятилетия. В этот, по историческим меркам, короткий период формальные и неформальные институциональные факторы на уровне страны оказали значительное влияние на ценности и, как следствие, на организационную культуру компаний. Даже по сравнению с соседними постсоветскими странами контекст для формирования белорусского бизнеса оказался уникальным. В 90-е годы его отличительными характеристиками были отсутствие крупномасштабной приватизации, функционирующая и сравнительно развитая обрабатывающая промышленность, небольшой внутренний рынок, жесткое регулирование предпринимательской деятельности и высокая инфляция.

Отсутствие приватизации и структурных реформ госсектора способствовало формированию класса талантливых и амбициозных предпринимателей, которые строили свой бизнес «с нуля», но на основе компетенций и технологий, оставшихся в стране после развала СССР, в таких секторах как приборостроение, машиностроение, химическая промышленность.

Высокие темпы инфляции и девальвации наряду с низким спросом на технологичные товары внутри страны вынуждали предприятия выходить на внешние, прежде всего, соседние рынки. Кроме этого, большинство белорусских компаний постоянно находились в поле зрения контролирующих органов и, чтобы не привлекать дополнительное внимание своими успехами, стремились не иметь госпредприятий среди своих клиентов, поставщиков и партнеров. Политика государства по поддержке экспорта, в том числе через создание свободных экономических зон, также имела положительный эффект на международную экспансию белорусских компаний. Как результат, в Беларуси вырос законопослушный бизнес, не ожидающий особой поддержки от государства и ориентированный на работу на внешних рынках, ключевыми факторами конкурентоспособности которого были человеческий капитал и нетривиальные бизнес-модели. Несколько десятков белорусских производственных компаний, малоизвестных в стране, стали «скрытыми чемпионами» – лидерами мирового рынка в достаточно узких нишах [8].

В этом контексте формирование ценностей белорусского бизнеса в основном происходило естественным путем под влиянием внешней среды. При этом, развитие бизнес-образования в Беларуси, доступ к западной бизнес-литературе, а позже и к Интернету, способствовали ознакомлению белорусских предпринимателей с ценностями и организационной культурой известных корпораций. Наиболее релевантные и близкие организационные ценности начинали культивироваться белорусскими компаниями.

Метод «репертуарных решеток»

Метод репертуарных решеток впервые был предложен Джорджем Келли в 1955 г. и начал использоваться в психотерапии, а позже был адаптирован исследователями и аналитиками в сфере менеджмента и маркетинга. Метод строится на сравнении элементов, которыми могут выступать индивидуумы, роли, ситуации, бренды, компании. До начала интервью исследователю необходимо определить перечень элементов и, исходя из целесообразности, сформировать из них пары или тройки элементов для последующего сравнения.

На первом этапе респонденту предлагается выбрать из трех случайных или predeterminedных исследователем элементов (например, брендов или стран) два похожих между собой элемента и одновременно отличающихся от третьего.

На втором этапе респондентом формулируется характеристика (конструкт), которая свойственна обоим элементам и делает их отличными от третьего элемента. Также предлагается указать противоположную характеристику (конструкт). Таким образом,

формируется пара конструкторов, а из всех пар – спектр (репертуар) конструкторов, индивидуальный для каждого респондента. Считается, что на этом этапе респондент раскрывает свои действительные стереотипные представления об элементах, потому что практически полностью исключается возможность влияния исследователя. Также метод позволяет получать и анализировать мнение и представление респондентов, не ограничивая их предварительно заданными терминами, формулировками или вариантами ответов.

На третьем этапе все элементы из первоначального перечня размещаются на координатной прямой от 0 до 100 в соответствии с тем, насколько им присуща одна или вторая из пары противоположных характеристик (конструкторов). Когда целевое количество пар конструкторов сформулировано, а элементы расположены на всех координатных прямых, соответствующих парам конструкторов, формируется репертуарная решетка.

Весь анализ и расчеты в методе репертуарных решеток (математическое ожидание, дисперсия, кластерный анализ) основаны на оценке расстояний между элементами и конструкторами, полученными по результатам прохождения респондентами трех этапов.

Для целей данного исследования респондентам для сравнения предлагались следующие 12 элементов, которые было предложено оценивать в следующих тройках:

1. Google – Toyota – Alibaba.
2. «Успешный бизнес» – British American Tobacco – Tesla.
3. «Провальный бизнес» – Газпром – Barbie.
4. «Ваш бизнес сейчас» – «Неэтичный бизнес» – McDonalds.

Данные компании были определены в качестве элементов решетки, так как предполагалось, что у собственников белорусского бизнеса есть представление о ценностях, позиционировании, миссии или культуре указанных компаний. Кроме этого, идея была в том, чтобы задать широкий диапазон ценностных систем компаний (не только производственный бизнес).

Программный продукт Rep:grid предоставляет ряд инструментов для анализа и визуализации данных, полученных в результате структурированных интервью. Наиболее релевантными для достижения цели данного исследования являются следующие инструменты.

1. Трехмерное пространство мнений – позволяет идентифицировать в пространстве элементы (компании) и конструкторы (характеристики), находящиеся близко друг к другу, а значит, похожие между собой, по мнению респондентов.

2. Кластерный анализ – «метод ближайших соседей» объединяет близко расположенные элементы в кластере и присваивает название кластеру по названию конструктора с наибольшим значением factor value.

3. Оценка степени соответствия – демонстрирует, насколько далеки интересующие элементы от заданных исследователем противоположных элементов.

4. Облако конструкторов – показывает степени, в которой конструкторы относятся к интересующим элементам, и позволяет выявлять сходства и отличия между элементами.

Метод «репертуарных решеток» относится к качественным видам анализа, хотя при значительном размере и репрезентативности выборки может рассматриваться как инструмент количественного анализа. В целом данный метод не предъявляет требований к количеству респондентов, так как основными единицами анализа являются не сами респонденты, а конструкторы, которые они формулируют. В данном исследовании один респондент генерировал 8 конструкторов (4 пары).

Для данного исследования было выбрано 20 собственников и руководителей успешного белорусского производственного экспортноориентированного бизнеса. Выбор данной категории предприятий обусловлен их относительной устойчивостью, конкурентоспособностью и значительным влиянием на экономику в целом [9]. По результатам интервью респондентами было сформулировано 160 конструкторов.

Результаты анализа

Трехмерное пространство мнений, построенное с помощью Rep:grid, представлено на рис. 1. Расстояния между элементами определялись в зависимости от того, как респонденты размещали элементы на координатных осях, сформированных парами конструкторов.

Данное представление позволяет выделить группы близко расположенных элементов. К первой группе можно отнести «Успешный бизнес», Alibaba, Google, Toyota, «Ваш бизнес сейчас» (общими характеристиками для них в первую очередь оказались «Ориентация на глобальный рынок» и «Ориентация на будущее»). Вторая группа представлена такими элементами, как «Неэтичный бизнес», Газпром, British American Tobacco. В третью группу попали Tesla и Barbie.

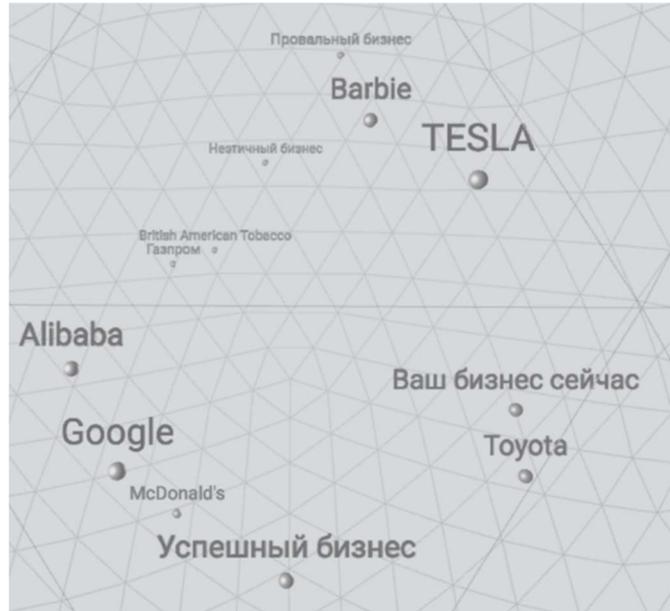


Рис. 1. Трехмерное пространство элементов

Fig. 1. 3D space of elements

Примечание. Разработка авторов с помощью Rep:grid

В численном выражении Эвклидовы расстояния между элементами представлены в табл. 1. Минимальное расстояние равняется 0, а максимальное – 100 единиц.

Таблица 1. Эвклидовы расстояния между элементами

Table 1. Euclidean distances between elements

Элементы	Успешный бизнес	Ваш бизнес сейчас	Провальный бизнес	Неэтичный бизнес	Google	Газпром	Toyota	Alibaba	McDonald's	British American Tobacco	Barbie	TESLA
Успешный бизнес		13,22	46,12	48,9	9,92	28,43	12,17	12,71	20,18	40,11	19,81	19,33
Ваш бизнес сейчас	13,22		37,14	42,35	19	24,35	5,23	18,89	22,82	36,03	13,13	15,6
Провальный бизнес	46,12	37,14		14,65	47,15	22,67	42,17	41,57	38,22	21,86	26,73	42,22
Неэтичный бизнес	48,9	42,35	14,65		50,84	20,79	47,05	44,76	35,07	12,17	32,11	50,48
Google	9,92	19	47,15	50,84		30,9	19,39	6,87	25,06	42,59	20,97	17,24
Газпром	28,43	24,35	22,67	20,79	30,9		28,75	25,25	15,77	12,19	14,96	33,81
Toyota	12,17	5,23	42,17	47,05	19,39	28,75		20,96	24,84	40,29	18,22	16,85
Alibaba	12,71	18,89	41,57	44,76	6,87	25,25	20,96		21,53	36,65	16,53	18,69
McDonald's	20,18	22,82	38,22	35,07	25,06	15,77	24,84	21,53		23,87	20,74	34,32
British American Tobacco	40,11	36,03	21,86	12,17	42,59	12,19	40,29	36,65	23,87		26,67	45,69
Barbie	19,81	13,13	26,73	32,11	20,97	14,96	18,22	16,53	20,74	26,67		19,03
TESLA	19,33	15,6	42,22	50,48	17,24	33,81	16,85	18,69	34,32	45,69	19,03	

Примечание: Чем меньше расстояние между элементами, тем темнее цвет ячейки.

Разработка авторов с помощью Rep:grid.

Наиболее схожими с бизнесом респондентов оказались Toyota (5.23) и Barbie (13.21). Наиболее далекими от него являются абстрактные элементы «Провальный бизнес» (42.35) и «Неэтичный бизнес» (37.14).

С учетом различимых в трехмерном пространстве трех групп элементов при выполнении кластерного анализа было задано количество кластеров, равное 3. Сформированным кластерам Rep:grid было присвоено название конструкта с наибольшим значением factor value. Кроме этого, были определены конструкты, располагающиеся ближе всего к центроиду кластера, т.е. в значительной мере свойственные элементам кластера (см. табл. 2).

Кластер 1. Эффективность: Лидерство, Гибкость, Соответствие цены качеству.

Кластер 2. Необдуманное использование ресурсов: Неэкологичность, Неадаптируемые коммуникации, Ориентация на невозобновляемые ресурсы.

Кластер 3. Ориентация на моду: Индивидуальность, Значимость каждого человека, Ориентация на человеческие эмоции.

Таблица 2. Результаты кластерного анализа
Table 2. Results of cluster analysis

	Успешный бизнес	Ваш бизнес сейчас	Провальный бизнес	Неэтичный бизнес	Google	Газпром	Toyota	Alibaba	McDonald's	British American	Barbie	TESLA
Кластер 1. Эффективность	99%	85%	47%	45%	88%	52%	86%	85%	75%	51%	76%	78%
Кластер 2. Необдуманное использование ресурсов	48%	53%	87%	96%	47%	83%	51%	52%	60%	87%	59%	48%
Кластер 3. Ориентация на моду	66%	78%	67%	55%	66%	52%	74%	67%	55%	53%	87%	81%

Примечание: Более высокий процент означает, что элементу в большей степени свойственна основная характеристика кластера (конструкт).

Разработка авторов с помощью Rep:grid.

На рис. 2 представлена оценка степени соответствия элементов, т. е. насколько различные элементы далеки от заданных противоположных элементов: «Провальный бизнес» и «Успешный бизнес». Видно, что у белорусских предпринимателей в части ценностей «Неэтичный бизнес», а также Газпром и British American Tobacco не ассоциируются с «Успешным бизнесом». В то же время Toyota, Google и Alibaba, по мнению белорусских предпринимателей, имеют систему ценностей, свойственную абстрактному «Успешному бизнесу».

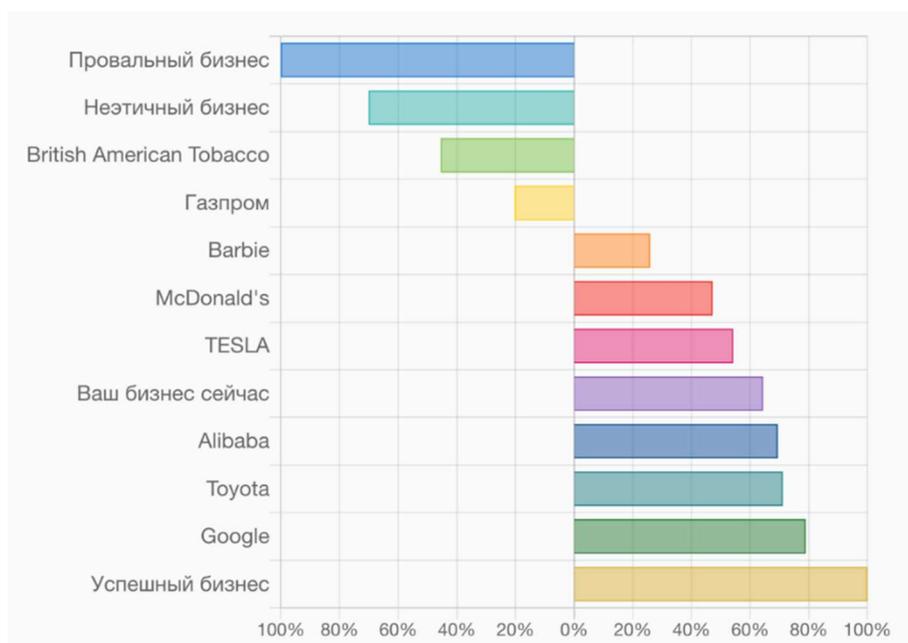


Рис. 2. Оценка степени соответствия

Fig. 2. Fulfillment degree

Примечание. Разработка авторов с помощью Rep:grid.

Облако конструкторов (табл. 3) использовалось для того, чтобы определить, какие конструкторы делают выбранные элементы похожими или отличными друг от друга. Для целей исследования были проанализированы следующие пары элементов:

1. «Успешный бизнес» и «Ваш бизнес сейчас» – степень соответствия не менее 80 %¹ для обоих элементов.
2. «Неэтичный бизнес» и «Ваш бизнес сейчас» – степень соответствия менее 20 % и не менее 80 % соответственно.
3. Toyota² и «Ваш бизнес сейчас» – степень соответствия не менее 80 % для обоих элементов.
4. «Провальный бизнес» и «Ваш бизнес сейчас» – степень соответствия менее 20 % и не менее 80 % соответственно.

Таблица 3. Облако конструкторов
Table 3. Cloud of constructs

<p>1. Присущи «Успешному бизнесу» и «Вашему бизнесу сейчас»</p> <p>Жизнь Ориентация на глобальный рынок Рассудительность Ориентация на устойчивую модель Ориентация на будущее Правдивая информация для потребителя Стремление быть ближе к клиенту Надежность Соответствие цена/качества</p>	<p>2. Не свойственны «Неэтичному бизнесу» и присущи «Вашему бизнесу сейчас»</p> <p>Рассудительность Стремление быть ближе к клиенту Жизнь Польза Стандартизированная работа Ориентация на устойчивую модель Ориентация на глобальный рынок Ориентация на интеллектуальную собственность Честность Правдивая информация для потребителя Инновации Забота о здоровье людей Экологичность Надежность Соответствие цена/качества Стремление быть ближе к клиенту</p>
<p>3. Присущи Toyota и «Вашему бизнесу сейчас»</p> <p>Семья Рассудительность Стремление быть ближе к клиенту Стандартизированная работа Ориентация на глобальный рынок Производство материальных ресурсов Ориентация на устойчивую модель Надежность Честность Ориентация на будущее Соответствие цена/качества Правдивая информация для потребителя</p>	<p>4. Не свойственны «Провальному бизнесу» и присущи «Вашему бизнесу сейчас»</p> <p>Рассудительность Жизнь Надежность Экологичность Ориентация на будущее Правдивая информация для потребителя Соответствие цена/качества Стремление быть ближе к клиенту Честность</p>

Примечание: Чем больше размер букв и темнее шрифт, тем в большей степени конструктор описывает интересующий элемент или, другими словами, меньше расстояние между элементом и конструктором в пространстве.

Примечание. Разработка авторов с помощью в Rep:grid.

¹ Отражает положение элемента на координатной оси 0–100% образованной парой конструкторов

² Выбрана для сравнения как ближайший элемент к элементу «Ваш бизнес сейчас»

Интерпретация результатов

В процессе цифровизации различных подсистем бизнеса анализ и изменение организационной культуры и ценностей компаний долгое время оставались без внимания менеджмента. Во многом это связано со сложностью систематизации и алгоритмизации таких абстрактных понятий, как ценности и организационная культура. Однако понимание их важности для устойчивого развития и конкурентоспособности бизнеса сформировало запрос на соответствующий инструментарий.

Информационно-аналитическая система Rep:grid является мощным инструментом для менеджмента и собственников, позволяющим, в частности, анализировать ценностные системы компаний, проходящих через слияния и поглощения; компаний из отдельных секторов экономики; предприятий государственной и частной формы собственности, и позволяет обосновывать и принимать взвешенные управленческие и политические решения относительно корпоративизации, реструктуризации или приватизации.

Результаты исследования белорусского производственного экспортоориентированного бизнеса с использованием инструмента Rep:grid демонстрируют, что важной организационной ценностью компаний является ориентация на глобальные рынки, что может свидетельствовать об их потенциале постепенной диверсификации рынков сбыта. С развитием информационно-коммуникационных технологий и белорусского ИТ-сектора возможностей для этого стало значительно больше по сравнению с тем, что было в 90-е годы, когда белорусские производственные компании начинали свою внешнеэкономическую деятельность.

В этой связи ключевыми задачами белорусского государства являются формирование институциональных и макроэкономических условий для устойчивого развития компаний – с одной стороны. С другой стороны – для того, чтобы белорусские компании, становясь международными, как можно большую часть добавленной стоимости создавали в стране. Решение этих задач способствовало бы созданию рабочих мест, привлечению инвестиций, а также внедрению новых бизнес-моделей и передовых технологий национальным бизнесом. Помимо создания общих условий для ведения бизнеса в Беларуси, перспективным для поддержки белорусских экспортоориентированных компаний могло бы стать выделение долгосрочных кредитных ресурсов по ставкам, сопоставимым со ставками на их целевых рынках, а также предоставление образовательных, консультационных и аналитических услуг.

Принадлежность белорусских компаний к кластеру, определенному такой ценностью как «Эффективность», позволяет утверждать, что в белорусском производственном частном бизнесе тенденция оптимизации бизнес-процессов имеет устойчивый характер. Следовательно, широкое информирование и популяризация таких современных концепций и подходов к повышению эффективности, как «бережливое производство» (Lean manufacturing), циркулярная экономика и цифровая трансформация, способны оказать положительное влияние на формирование и реализацию бизнес-стратегий.

При рассмотрении ценностей, которые объединяют белорусский бизнес, элемент «Успешный бизнес» и Toyota (ближайший элемент к элементу «Ваш бизнес сейчас»), можно выделить конструкт «Стремление быть ближе к клиенту». Именно клиентоориентированность и гибкость в удовлетворении запросов потребителей во многом предопределили конкурентоспособность белорусского бизнеса на внешних рынках, позволив в некоторых нишах успешно соперничать с крупными транснациональными корпорациями [8].

Заключение

В целом можно утверждать, что сформированная система ценностей белорусских производственных компаний, а также их опыт выживания в периоды предыдущих кризисов создали важные предпосылки для того, чтобы в период мирового кризиса 2020 года и последовавшего восстановления, белорусский экспортоориентированный бизнес укрепил свои позиции на внешних рынках. Однако, в связи со складывающейся военно-политической ситуацией в регионе, а также вводимыми санкциями и ограничениями в отношении белорусской экономики, прогнозировать дальнейшие перспективы не представляется возможным.

В заключение необходимо отметить, что одним из ограничений данного исследования является использование одних и тех же компаний-элементов в методе репертуарных решеток, что не позволяло собственникам белорусского бизнеса выявлять и сравнивать ценности своей компании с компаниями из той же отрасли. Вероятно, такие сравнения могли бы дать более полное представление о системе ценностей белорусских компаний.

Список литературы

1. Fitzgerald, G. A. Organizational values and their relation to organizational performance outcomes / G. A. Fitzgerald, N. M. Desjardins // *Atlantic Journal of Communication*. – 2004. – Т. 12. – № 3. – С. 121–145.
2. Коршунов Г. П. Беларусь и соседи: динамика системы ценностей за последние 30 лет // *BEROC Working Paper Series, WP no. 76*. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://beroc.org/upload/iblock/8da/8dadef29e11f0177078f4046ed9af3d4.pdf>. – Дата доступа: 07.07.2021.
3. Урбан, Д. А. Белорусская мечта. Исследование национальной идентичности лидеров мнений и социальных активистов Беларуси // *BEROC Working Paper Series, WP no. 68*. – 2020. – Режим доступа: http://www.research.by/webroot/delivery/files/BEROC_WP68.pdf. – Дата доступа: 07.07.2021.
4. Lee, R. V. The value of corporate values / R. V. Lee., L. Fabish., & N. McGaw // *Strategy + Business*. – 2005. – Т. 39. – С. 1–14.
5. Berson, Y. CEO values, organizational culture and firm outcomes / Y. Berson, S. Oreg, T. Dvir // *Journal of Organizational Behavior: The International Journal of Industrial, Occupational and Organizational Psychology and Behavior*. – 2008. – Т. 29. – № 5. – С. 615–633.
6. Ling, Y. Influence of founder – CEOs' personal values on firm performance: Moderating effects of firm age and size / Y. Ling, H. Zhao, R. A. Baron // *Journal of Management*. – 2007. – Т. 33. – № 5. – С. 673–696.
7. Hui, H. The impact of firm age and size on the relationship among organizational innovation, learning, and performance: A moderation analysis in Asian food manufacturing companies / H. Hui, C. W. J. Radzi Wan Mohamed, H. S. Jenatabadi, F. Abu Kasim, S. Radu // *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*. – 2013. – Т. 5. – № 3.
8. Морозов, Р. И., Огинская, А. В. «Скрытые чемпионы» Беларуси // *Наука и инновации*. – 2022. – Т. 2. – No 228. – С. 46–51.
9. Акулова, М. Глобальный мониторинг предпринимательства: GEM Беларусь 2019/2020 / М. Акулова. Центр экономических исследований «БЕРОК». 2020. – Режим доступа: <https://www.beroc.org/upload/iblock/f3c/f3c158cc802c8f88db13c995398763e6.pdf>. – Дата доступа: 07.07.2021.

References

1. Fitzgerald, G. A. Organizational values and their relation to organizational performance outcomes / G. A. Fitzgerald, N. M. Desjardins // *Atlantic Journal of Communication*. – 2004. – Vol. 12. – No 3. – P. 121–145.
2. Korshunau, H. P. Belarus' i sosedi: dinamika sistemy cennostej za poslednie 30 let – [Electronic resource] // *BEROC Working Paper Series, WP no. 76*. – 2021. – Access mode: <https://beroc.org/upload/iblock/8da/8dadef29e11f0177078f4046ed9af3d4.pdf>. – Access date: 07.07.2021.
3. Urban, D. A. Belorusskaya mechta. Issledovanie natsionalnoy identichnosti liderov mneniy i sotsialnykh aktivistov Belarusi // *BEROC Working Paper Series, WP no. 68*. – 2020. – Access mode: http://www.research.by/webroot/delivery/files/BEROC_WP68.pdf. – Access date: 07.07.2021.
4. Lee, R. V. The value of corporate values / R. V. Lee., L. Fabish. & N. McGaw // *Strategy + Business*. – 2005. – Vol. 39. – P. 1–14.
5. Berson, Y. CEO values, organizational culture and firm outcomes / Y. Berson, S. Oreg, T. Dvir // *Journal of Organizational Behavior: The International Journal of Industrial, Occupational and Organizational Psychology and Behavior*. – 2008. – Vol. 29. – No 5. – P. 615–633.
6. Ling, Y. Influence of founder – CEOs' personal values on firm performance: Moderating effects of firm age and size / Y. Ling, H. Zhao, R. A. Baron // *Journal of Management*. – 2007. – Т. 33. – No 5. – P. 673–696.
7. Hui, H. The impact of firm age and size on the relationship among organizational innovation, learning, and performance: A moderation analysis in Asian food manufacturing companies / H. Hui, C. W. J. Radzi Wan Mohamed, H. S. Jenatabadi, F. Abu Kasim, S. Radu // *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*. – 2013. – Vol. 5. – No 3.
8. Marozau R. I., Aginskaya H. V. “Skrytye chempiony” Belarusi // *Nauka i innovacii* – 2022. – Vol. 2. – No. 228. – P. 46–51.

9. Akulava, M. Global'nyj monitoring predprinimatel'stva: GEM Belarus 2019/2020 / M. Akulava [et al.] / Belarusian Economic Research and Outreach Center BEROC. 2020. – Access mode: <https://www.beroc.org/upload/iblock/f3c/f3c158cc802c8f88db13c995398763e6.pdf>. – Access date: 07.07.2021.

Вклад авторов

Авторы внесли равный вклад в написание статьи.

Authors' contribution

The authors provided equal contribution in preparing the paper.

Сведения об авторах

Морозов Р. И., к. э. н., Ph.D, ведущий специалист в области экономики ООО «Ассесмент» (Бизнес-школа Academ.by).

Косяк Е. Л., руководитель направления менеджмента и HR, ООО «Ассесмент» (Бизнес-школа Academ.by).

Information about the authors

Marozau R. I., Cand. of Sci., Ph.D., Leading Specialist in the Area of Economics at the LLC «Assessment» (Academ.by business school).

Kosyak E. L. Head of Management and HR Area at the LLC «Assessment» (Academ.by business school).

Адрес для корреспонденции

220116, Республика Беларусь,
г. Минск, пр-т Газеты Правда, 11
ООО «Ассесмент»,
тел. +375-29-322-58-61;
e-mail: rodion.morozov@gmail.com
Морозов Родион Игоревич

Address for correspondence

220116, Republic of Belarus,
Minsk, Gazety Pravda Ave., 11,
LLC «Assessment»;
tel. +375-29-322-58-61;
e-mail: rodion.morozov@gmail.com
Marozau Radzivon Igorevich



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-33-42>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 621.142.2

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Н. И. ЛИСТОПАД, Е. А. БУЩИК

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

Поступила в редакцию 21 марта 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Представлен анализ основных подходов к проектированию информационных образовательных систем. Рассмотрены основы проектирования информационных образовательных систем (ИОС) с учетом современных требований цифровой трансформации. Сформулированы принципы проектирования ИОС; разработаны основные требования, предъявляемые к ИОС; описаны виды деятельности, которые планируется осуществлять в электронной (цифровой) форме. Авторами показано, что ожидаемые результаты от внедрения ИОС коснутся всех участников образовательного процесса, однако для каждого из участников эти эффекты будут разными. Предложены подходы для проектирования ИОС в виде инфологической, даталогической и физической моделей. Отдельно рассмотрена модель проектирования ИОС при преподавании конкретной дисциплины, а также – модель для построения ER-диаграммы. В то же время, ИОС является комплексной задачей и должна решать вопросы управления учебным процессом, автоматизировать и оптимизировать его работу.

Ключевые слова: информационная образовательная система, цифровая трансформация, модель проектирования системы, участник образовательного процесса, управление учебным процессом.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Листопад Н. И., Бущик Е. А. Проектирование информационных образовательных систем. *Цифровая трансформация.* 2022; 28(2): 33-42.

DESIGN OF DIGITAL EDUCATION SYSTEMS

NIKOLAI I. LISTOPAD, ELIZAVETA A. BUSHCHYK

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

Submitted 21 March 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. An analysis of the main approaches to the design of information education systems is presented. The basics of designing information education systems (IES) are considered, taking into account the modern requirements of digital transformation.

The principles of designing the *IES* are formulated, the basic requirements for the *IES* are developed, the types of activities that are planned to be carried out in electronic (digital) form are described. The authors show that the expected results from the introduction of the *IES* will affect all participants in the educational process, however, for each of these participants, these effects will be different. Models for designing the *IES* in the form of an infological model, a datalogical model, a physical model are proposed. Additionally, a model for designing the *IES* when teaching a particular discipline, as well as a model for constructing *ER*-diagrams, were considered. At the same time, the *IES* is a complex task and it should solve the problems of managing the educational process, automate, and optimize it.

Keywords: information educational system, digital transformation, system design model, participant in the educational process, management of the educational process.

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

For citation. Listopad N. I., Bushchuk E. A. Design of Digital Education Systems. *Digital Transformation*. 2022; 28(2): 33-42.

Введение

Цифровая трансформация образования выходит далеко за рамки информатизации учреждения образования. В современном мире происходит не просто использование цифровых технологий, а изменяются формы, методы и бизнес-процессы как в организации и проведении учебного процесса, так и в системе управления образованием. Ключевым признаком цифрового университета является комплексная многоуровневая интегрированная среда на основе информационно-коммуникационных технологий (далее ИКТ-технологий): с разработкой и управлением образовательным контентом, интеграцией с информационными системами различного уровня, выстраиванием образовательных траекторий в соответствии с потребностями обучающихся [1].

Актуальность разработки информационной системы обусловлена тем, что перспективной задачей учреждений образования является повышение цифровой грамотности педагогов, ориентированной на применение цифровой среды в образовательном процессе. Цифровая среда требует от педагогов совершенно иных подходов и форм работы с обучающимися. Педагог должен создавать и применять контент посредством цифровых технологий, включая навыки компьютерного программирования, поиска, обмена информацией, коммуникации.

Реализация образовательных программ с применением ИКТ, использование различных «...подходов, форм, методов и средств позволяет последовательно моделировать социальное содержание будущей профессиональной деятельности» и обеспечивает обучающимся получение информации, непрерывность образования и в целом расширение образовательного пространства БГУИР [2].

Использование информационной системы обеспечит возможность педагогу постоянно совершенствовать учебный материал, проводить оперативный контроль над учебным процессом, внедрять новые организационные формы обучения. Внедрение информационной системы в обучение значительно разнообразит процесс восприятия и отработки информации: обучающимся предоставляется возможность овладения большим объемом информации с последующим анализом и сортировкой. Значительно расширяется и мотивационная основа учебной деятельности. В результате работы с информационной системой у обучающегося развивается самостоятельность мышления, формируется умение делать обобщения, использовать знания с элементами творчества в новых условиях, самостоятельно находить ответы на вопросы.

Проектирование информационной образовательной системы.

Под информационной образовательной системой (ИОС) следует понимать «...совокупность банков данных, информационных технологий и комплекса (комплексов) программно-технических средств», использование которых в образовательном процессе направлено на формирование творческой, социально и профессионально развитой личности [3].

Информационно-образовательная система должна строиться на следующих принципах¹:

а) актуальность – в первую очередь должны быть реализованы наиболее важные задачи, от решения которых зависит достижение главной цели, а именно – подготовка будущих специалистов;

б) этапность – разработка ИОС не может быть выполнена сразу в полном объеме и должна осуществляться поэтапно, последовательно переходя от основных элементов ко второстепенным, от простых к более сложным по мере накопления опыта и развития структуры самой системы;

в) типизация и унификация проектирования – при разработке различных подсистем ИОС необходимо опираться на типовые решения, а также общие правила построения пользовательского интерфейса;

г) рациональность сочетания возможностей человека и техники – наличие необходимости обоснования и рационального распределения функций в ИОС между субъектами и техническими средствами с целью наиболее эффективного использования их возможностей;

д) многокомпонентность – включает в себя программное обеспечение, учебно-методические материалы, тренинговые системы, базы данных, технические средства, хранилища информации;

е) интегральность – совокупность базовых знаний, определенных профилем будущих специалистов; учебно-методические материалы; междисциплинарные связи, позволяющие детализировать и углубить знания;

ж) распределенность – информационная компонента системы оптимально распределена по серверам с учетом ограничений и требований технических средств;

з) адаптивность – система должна быть гибкой, т.е. изменять свое информационное ядро и органично внедряться в традиционную систему образования, не нарушая ее принципов и структуры построения².

Сформулируем требования, предъявляемые к ИОС.

1. Полнота обработки информации – обеспечение необходимой информацией в необходимом объеме.

2. Эффективность – определяется сопоставлением всех затрат и получаемых при этом результатов.

3. Качество – степень приспособленности системы к выполнению заданных функций.

Среди основных свойств, определяющих качество функционирования ИОС, выделяют следующие:

– адекватность функционирования ИОС;

– наличие технических возможностей информационной системы к взаимодействию, совершенствованию и развитию;

– надежность и своевременность представления информации и выполнения функциональных технологических операций;

– полноту, безошибочность, актуальность и конфиденциальность представляемой информации.

4. Надежность ИОС определяется надежностью ее технических средств и программного обеспечения, а также возможными ошибками исполнителей.

5. Безопасность ИОС предполагает такое ее функционирование, при котором обеспечивается защита информации, циркулирующей в этой системе; защита пользователей информационной системы от вредного воздействия как различной информации, так и объектов самой системы; защита информационной системы и ее объектов от несанкционированного изменения ее заданных параметров и режима эксплуатации.

¹ Бущик, Е. А. Информационная система для обеспечения образовательного процесса по дисциплине «Основы системного анализа»: диссертация магистра техники и технологии: 1-39 81 03 / науч. рук. Н. И. Листопад. – Минск: БГУИР, 2021. – 72 с.

² Закон Республики Беларусь 10 ноября 2008 г. № 455-3 Об информации, информатизации и защите информации [Электронный ресурс]. – 2008. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=h10800455>. – Дата доступа: 22.03.2022.

6. Удобство использования – требование максимального учета в разрабатываемой системе особенностей соответствующего подразделения, состава, содержания и форм обрабатываемой в нем информации и разрабатываемых документов; обеспечение наглядности представления результатов решения в интересах повышения оперативности и качества управления.

7. Модульность – возможность строить ИОС и ее элементы из относительно самостоятельных и функционально завершенных стандартных частей – модулей.

8. Масштабируемость – обеспечение в процессе создания ИОС возможности предсказуемого роста системных характеристик (быстроты реакции, количества поддерживаемых пользователей, общей производительности и пр.) при добавлении к системе вычислительных ресурсов.

9. Сопровождаемость – обеспечение высокой степени приспособленности системы к длительной эксплуатации, к ее доработке и совершенствованию в интересах улучшения качества функционирования или удовлетворения дополнительных требований пользователей³.

ИОС должна обеспечивать возможность осуществлять в электронной (цифровой) форме следующие виды деятельности:

- планирование образовательного процесса;
- размещение и сохранение материалов образовательного процесса, информационных ресурсов, в том числе работ обучающихся и педагогов, используемых участниками образовательного процесса;
- фиксацию хода образовательного процесса и результатов освоения образовательных программ;
- взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе – дистанционное посредством сети Интернет; возможность использования данных, формируемых в ходе образовательного процесса для решения задач управления образовательной деятельностью;
- контролируемый доступ участников образовательного процесса к информационным образовательным ресурсам сети Интернет;
- взаимодействие учреждения образования с органами, осуществляющими управление в сфере образования, а также с другими учреждениями образования и организациями.

Ожидаемые результаты от разработки и внедрения ИОС отличаются для участников образовательного процесса.

Для системы образования в целом это могут быть следующие результаты:

- будут решены основные проблемы инфраструктурного обеспечения системы образования;
- повысится качество образовательных услуг;
- уменьшится количество издаваемой печатной продукции;
- повысится эффективность управления системой образования.

Для педагогических работников можно ожидать следующее:

- высвободится время непосредственно для работы с обучающимися;
- упростится и ускорится доступ к необходимым для проведения занятий материалам;
- будет внедрена система непрерывного педагогического профессионального развития, основанная на новых методах и технологиях обучения.

Непосредственно для обучающихся будет реализовано следующее:

- будет внедрен принцип мобильности обучения, получит широкое развитие дистанционное обучение;
- произойдет внедрение личностно-ориентированного подхода в процесс обучения, выстраивание персональной образовательной траектории обучающегося;
- будут созданы равные возможности для получения качественных образовательных услуг на уровне современных требований вне зависимости от места проживания и обучения;

³ Информационно-образовательная система [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: https://spravochnick.ru/pedagogika/chto_takoe_obrazovatel'naya_sistema/informacionno-obrazovatel'naya_sistema/. – Дата доступа: 15.03.2022.

– на этой основе будет обеспечено формирование личности, адаптированной к жизни в информационном обществе со всеми его возможностями, вызовами и рисками⁴.

Модели, положенные в основу проектирования информационных образовательных систем

Инфологическая модель проектирования ИОС.

Как известно, основными конструктивными элементами инфологических моделей являются сущности, связи между ними и их свойства (атрибуты).

Сущность – любой различимый признак, информацию о котором необходимо хранить в базе данных. Необходимо различать такие понятия, как «тип сущности» и «экземпляр сущности». Понятие «тип сущности» относится к набору однородных личностей, предметов, событий или идей, выступающих как целое, в то время как «экземпляр сущности» относится к конкретной вещи в наборе.

Атрибут – любая характеристика сущности, значимая для рассматриваемой предметной области. Атрибут может быть либо обязательным, либо необязательным.

Ключ – минимальный набор атрибутов, по значениям которых можно однозначно найти требуемый экземпляр сущности. Минимальность означает, что исключение из набора любого атрибута не позволяет идентифицировать сущность по оставшимся. Каждая сущность обладает хотя бы одним возможным ключом. Один из них принимается за первичный ключ, а другой за внешний ключ, который представляет собой отношение между таблицами⁵.

Процесс проектирования ИОС, реально используемой при преподавании той или иной дисциплины, может быть представлен в виде модели, изображенной на рис. 1.

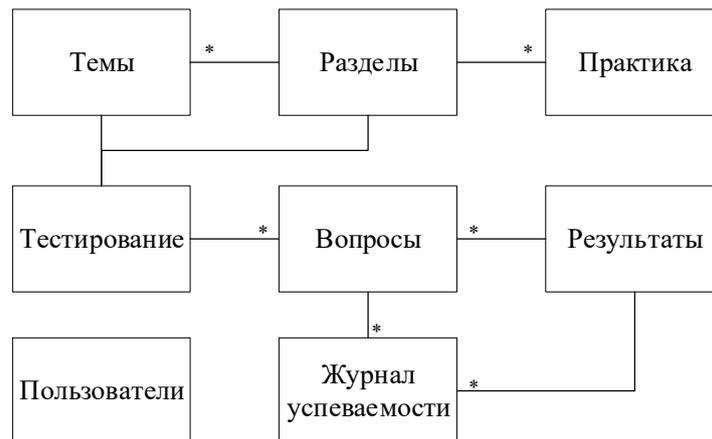


Рис. 1. Модель проектирования ИОС при преподавании конкретной дисциплины
Fig. 1. IES design model for teaching a specific discipline

Одними из основных составляющих ИОС при преподавании любой дисциплины являются вопросы. Рассмотрим этот аспект более подробно.

Могут быть использованы следующие *типы вопросов*: одиночный; множественный; вопрос со свободным ответом; вопрос на упорядочивание; вопрос на классификацию; вопрос на сопоставление.

Тип вопроса «Одиночный ответ». Вопрос одиночного типа может содержать неограниченное количество вариантов ответов. Ответы могут быть представлены как в виде текста, так и в виде картинок. При тестировании пользователь может выбрать только один вариант ответа в качестве правильного.

⁴ Понятие автоматизированных информационных систем [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа: https://studopedia.ru/4_56996_vopros-ponyatie-avtomatizirovannih-informatsionnih-sistem-klassifikatsiya-ais.html. – Дата доступа: 07.02.2022.

⁵ Концепция цифровой трансформации процессов в системе образования Республики Беларусь на 2019–2025 годы [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://crit.bspu.by/wp-content/uploads/2021/08/concept.pdf>. – Дата доступа: 18.03.2022.

Тип вопроса «Множественный ответ». Один или несколько вариантов ответа могут быть правильными. При тестировании пользователь может выбрать как один, так несколько вариантов ответа в качестве правильных. Количество возможных ответов ограничено количеством правильных ответов. Т.е. если на вопрос есть три правильных ответа, то нельзя дать больше трех ответов: после выбора трех вариантов остальные блокируются.

Тип вопроса «Вопрос со свободным ответом». Такой тип вопроса предполагает самостоятельное написание ответа пользователем. Также есть возможность прикрепить к ответу файл. Такие ответы проверяются преподавателем и влияют на общий результат теста.

Тип вопроса «Вопрос на упорядочивание». Данный тип вопроса предполагает размещение вариантов ответа в правильном порядке. Для перемещения элемента необходимо «кликнуть» по нему, зажать и, не отпуская, перетащить в нужное место, после чего отпустить «кнопку».

Тип вопроса «Вопрос на классификацию». В данном типе вопросов необходимо отнести варианты ответов в предлагаемые категории. Варианты ответов нужно «перетаскивать» в выбранные категории по аналогии с вопросом на упорядочивание. Вопрос, уже помещенный в категорию, можно удалить посредством нажатия на иконку корзинки напротив выбранного элемента.

Тип вопроса «Вопрос на сопоставление». Для типа вопросов на сопоставление необходимо сложить варианты ответов с соответствующими им парными вариантами. Все варианты ответов расположены в левой колонке. Парные варианты расположены в правой колонке – эти варианты нужно перетянуть и соединить с вариантами в левой колонке, т.е. таким образом «сложить пазл» с правильным ответом. Если при ответе была допущена ошибка, то неправильный вариант можно удалить и ответить заново.

Проектирование даталогической модели.

Даталогическая модель описывает логику связей между атрибутами объектов, не привязываясь к их содержанию и технологии хранения, и может быть представлена как реляционная, так и иерархическая или даже сетевая. Именно в таком понимании данная модель использована авторами при построении информационных образовательных систем.

При проектировании информационных образовательных систем основной акцент был сделан именно на реляционную даталогическую модель, которая, как известно, базируется на понятиях реляционной алгебры, таких как таблица, строка, столбец, отношение, первичный и внешний ключи.

Под первичным ключом понимается столбец, значение которого однозначно идентифицирует строку таблицы.

Внешний ключ – это также столбец, значение которого однозначно определяет значение первичного ключа другой таблицы.

При проектировании информационной образовательной системы был использован понятный пользователю список, который приведен в табл. 1.

Таблица 1. Описание ключей таблиц, использованных в базе данных
Table 1. Description of table keys used in the database

Название таблицы	Первичный ключ	Внешний ключ
Темы	<i>id_темы</i>	<i>id_раздела</i>
Разделы	<i>id_раздела</i>	–
Практика	<i>id_практика</i>	<i>id_раздела</i>
Тесты	<i>id_теста</i>	<i>id_раздела</i> <i>id_темы</i>
Вопросы	<i>id_вопроса</i>	<i>id_теста</i> <i>id_результата</i>
Результаты	<i>id_результата</i>	<i>id_теста</i> <i>id_журнал_успеваемости</i>
Журнал успеваемости	<i>id_журнала_успеваемости</i>	<i>id_вопроса</i> <i>id_результата</i>
Пользователи	<i>id_пользователя</i>	–

Проектирование физической модели.

Неотъемлемой частью информационной образовательной системы является модель данных физического уровня, основной задачей которой является привязка датадогической модели к конкретной физической среде. Физическая модель описывает используемые запоминающие устройства, способы физической организации данных в среде хранения, передачи и обработки.

Данные в таблицах *MySQL* сохраняются в определенном формате, который называется типом данных. Тип данных определяет вид и диапазон допустимых значений, которые могут быть введены в поле, а также объем памяти, выделяющийся для этого поля. Типы данных, поддерживаемые СУБД *MySQL*, можно разделить на четыре группы: числа, текст, дата и время, списки. В создаваемой базе данных будут использоваться следующие типы данных: числовой, текстовый, дата и время.

Процесс преобразования базы данных к виду, отвечающему нормальным формам, называется, как известно, нормализацией [4]. Нормализация предназначена для приведения структуры базы данных к виду, обеспечивающему минимальную избыточность, т.е. нормализация не имеет целью уменьшение или увеличение производительности работы, или же уменьшение либо увеличение объема базы данных. Конечной целью нормализации является уменьшение потенциальной противоречивости, хранимой в базе данных информации.

Опишем таблицы предлагаемой базы данных при проектировании ИОС для конкретной преподаваемой дисциплины (табл. 2).

Таблица 2. Поля и типы данных таблиц базы данных
Table 2. Fields and data types of database tables

Название таблицы	Имя атрибута	Тип данных
Темы	<i>id</i> темы	<i>Int</i>
	Наименование	<i>Varchar</i>
	Текст	<i>Longtext</i>
Разделы	<i>id</i> раздела	<i>Int</i>
	Наименование	<i>Varchar</i>
Практика	<i>id</i> практика	<i>Int</i>
	Наименование	<i>Varchar</i>
	Текст	<i>Longtext</i>
Тесты	<i>id</i> теста	<i>Int</i>
	Наименование	<i>Varchar</i>
	Количество вопросов	<i>Int</i>
Вопросы	<i>id</i> вопроса	<i>Int</i>
	Наименование	<i>Varchar</i>
	Варианты ответов	<i>Json</i>
	Правильные ответы	<i>Json</i>
Результаты	<i>id</i> результата	<i>Int</i>
	ФИО	<i>Varchar</i>
	Группа	<i>Int</i>
	Отметка	<i>Int</i>
Журнал успеваемости	<i>id</i> журнала успеваемости	<i>Int</i>
	Количество верных/неверных ответов	<i>Int</i>
	Дата	<i>Datetime</i>
Пользователи	<i>id</i> пользователя	<i>Int</i>
	Имя	<i>Varchar</i>
	Логин	<i>Varchar</i>
	Пароль	<i>Text</i>

Модель для построения ER-диаграммы

При создании моделей данных используется метод семантического моделирования. Семантическое моделирование основывается, как известно, на значении структурных компонентов

или характеристик данных, что способствует правильности их интерпретации (понимания, разъяснения)⁵.

Существуют различные варианты семантического моделирования (*ERD – Entity-Relationship*), но наиболее наглядным является графическое изображение сущностей предметной области, их взаимосвязей, а также свойств (атрибутов).

Разработанная авторами *ER*-диаграмма ИОС для конкретной дисциплины представлена на рис. 2. Как следует из рисунка, *ER*-диаграммы позволяют использовать наглядные графические обозначения для моделирования сущностей, включая их взаимосвязи. Основное преимущество данного метода состоит в том, что модель строится методом последовательного уточнения и дополнения первоначальных диаграмм. Например, сущность (*Entity*) – это может быть реальный либо воображаемый объект, имеющий существенное значение для рассматриваемой предметной области. В этой связи каждая сущность должна обладать уникальным идентификатором (*PK*), т.е. каждый экземпляр сущности должен однозначно идентифицироваться и отличаться от всех других экземпляров данного типа сущности. Таким образом, каждая сущность может обладать любым количеством связей с другими сущностями модели.

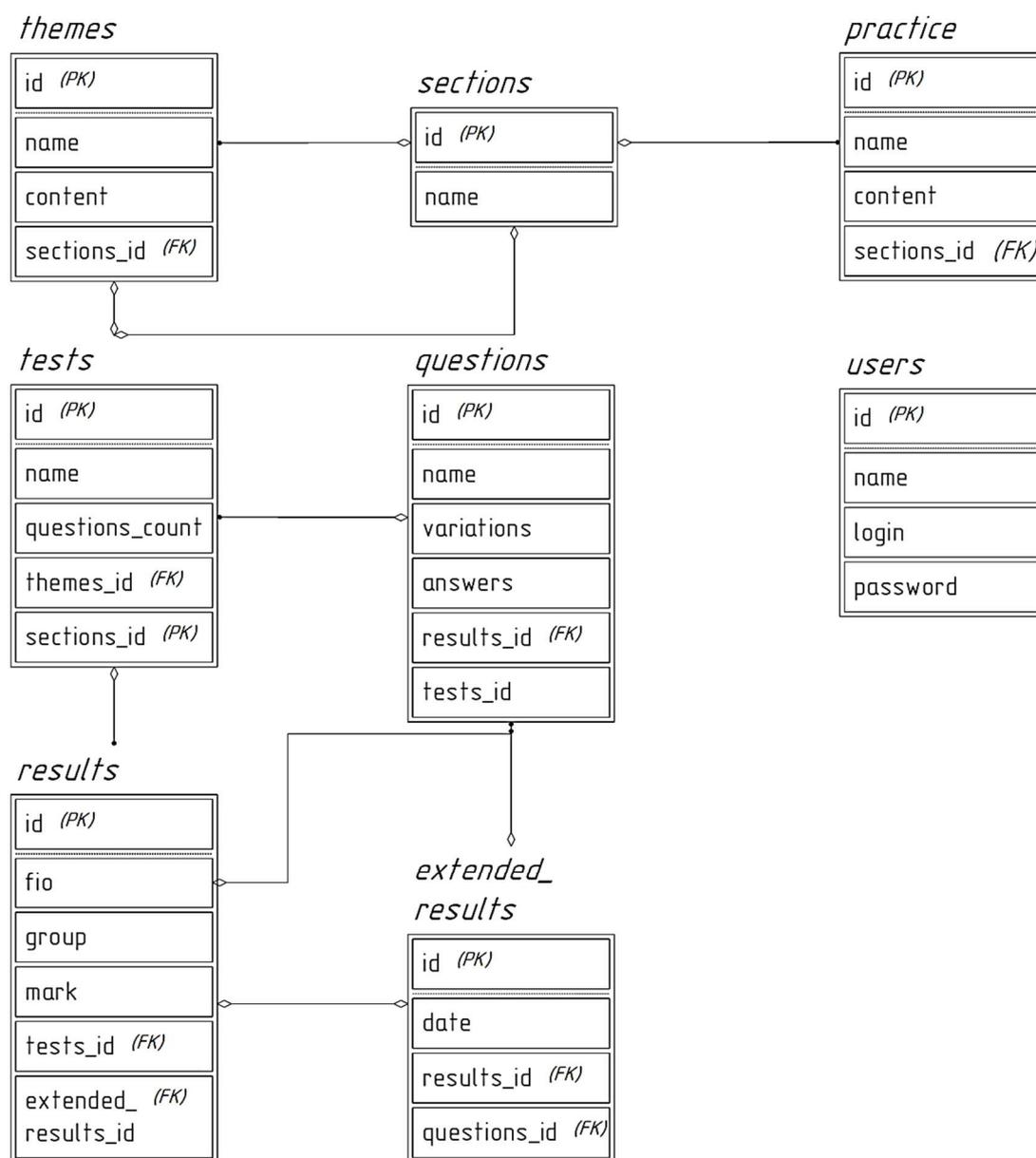


Рис. 2. Модель *ER*-диаграммы ИОС
 Fig. 2. Model of *ER*-Diagram IES

Заклучение

В представленной статье рассмотрены основы проектирования информационных образовательных систем с учетом современных трендов цифровой трансформации. Сформулированы принципы проектирования ИОС, разработаны основные требования, предъявляемые к ИОС, описаны виды деятельности, которые планируется осуществлять в электронной (цифровой) форме.

На основании изложенного материала авторами делается вывод, что при разработке информационной образовательной системы одним из важнейших процессов является корректный выбор моделей, которые будут использоваться для ее проектирования. Таким образом, проектирование ИОС должно базироваться на комплексном подходе и решать задачи управления учебным процессом, автоматизировать и оптимизировать его работу, обеспечивая при этом его высокую эффективность как для обучающегося, так и для преподавателя.

Список литературы

1. Богуш, В. А. Цифровая трансформация высшего образования / В. А. Богуш // Цифровая трансформация образования : тез. докл. 1-й науч.-практ. конф., Минск, 30 мая 2018 г. [Электронный ресурс]. – Минск : ГИАЦ, Минобразования, 2018. – С. 450–453. – Режим доступа: http://dtconf.unibel.by/doc/DTE_conference.pdf. – Дата доступа: 01.12.2021.
2. Биленко, П. Н. Дидактическая концепция цифрового профессионального образования и обучения / П. Н. Биленко [и др.]; под науч. ред. В. И. Блинова – М. : Издательство «Перо», 2019.
3. Парафиянович, Т. А. Формирование социально-личностных компетенций студентов университета / Т. А. Парафиянович // Высшее техническое образование: проблемы и пути развития = Engineering education: challenges and developments: материалы IX Международной научно-методической конференции, Минск, 1-2 ноября 2018 года / редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2018. – С. 351–354.
4. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных, 8-е издание.: Пер. с англ. / К. Дж. Дейт. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2005.
5. Коннолли, Т. Базы данных: проектирование, реализация, сопровождение. Теория и практика, 3-е издание. / Т. Коннолли, К. Бегг. – М: Издательский дом «Вильямс», 2003.

References

1. Bogush, V. A. Digital Transformation of Higher Education. / V. A. Bogush. // Cifrovaja transformacija obrazovanija: tez.dokl. 1 nauch.-prakt. konf. [Digital Transformation of Education: Reports of the 1st Scientific and Practical Conf.]. Minsk: 30 May, 2018. [Electronic resource]. Minsk : MIAC, 2018. P. 450–453. – Available at: http://dtconf.unibel.by/doc/DTE_conference.pdf. – Accessed 01.12.2021. (In Russ.)
2. Bilenko, P. N. Didakticheskaya koncepciya cifrovogo professional'nogo obrazovaniya i obucheniya [Didactic concept of digital vocational education and training]. / P. N Bilenko. [i dr.] Moscow : Nauka Publ. «Pero», 2019. (In Russ.)
3. Parafijanovich, T. A. Formation of social and personal competencies of university students. / T. A. Parafijanovich. // Vysshee tekhnicheskoe obrazovanie: problemy i puti razvitiya = Engineering education: challenges and developments: materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii [Higher technical education: problems and ways of development = Engineering education: challenges and developments: materials of the IX International Scientific and Methodological Conference. – Minsk St. Univ. Publ. BSUIR., 2018. – P. 351–354 (In Russ.).
4. Dejt, K. Dzh. Vvedenie v sistemy baz dannyh, 8-e izdanie [Introduction to Database Systems, 8th Edition]. – Moscow : Nauka Publ. «Vil'yams», 2005. (In Russ.)
5. Konnolli, T., Begg, K. Bazy dannyh: proektirovanie, realizaciya, soprovozhdenie. Teoriya i praktika, 3 izdanie [Databases: design, implementation, maintenance. Theory and Practice, 3rd Edition]. Moscow : Nauka Publ. «Vil'yams», 2003. (in Russ.)

Вклад авторов

Все авторы в равной степени внесли вклад в написание статьи.

Authors' contribution

All authors have equally contributed to the writing of the article.

Сведения об авторах

Листопад Н. И., д. т. н., профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Бущик Е. А., аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Адрес для корреспонденции

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

Information about the authors

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

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

Address for correspondence

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



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-43-51>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.75

АНАЛИЗ РАБОТЫ БАЛАНСИРОВЩИКА НАГРУЗКИ СЕРВИСА ВИДЕО-КОНФЕРЕНЦ-СВЯЗИ

А. Н. МАРКОВ, А. И. ПАРАМОНОВ

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

Поступила в редакцию 11 апреля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Показывается необходимость внедрения балансировки сервиса видео-конференц-связи (ВКС) при использовании в образовательных процессах. Рассматривается структура построения сервиса ВКС с балансировщиком нагрузки. Проводится компьютерный эксперимент на сервис ВКС. По результатам компьютерного эксперимента на выбранный сервис ВКС BigBlueButton с балансировщиком нагрузки сформированы графики. Приводятся графики нагрузки на аппаратные компоненты виртуального сервера на трех этапах тестирования для центрального процессора, а также оперативную память и сетевые интерфейсы как в пределах сервиса, так и в структуре локальной компьютерной сети. Описываются результаты анализа графиков на предмет выявления ключевых особенностей работы сервиса ВКС с балансировщиком нагрузки. Определяются наиболее загруженные аппаратные компоненты виртуального сервера. Формулируются проблемы эксплуатации сервиса с выбранным алгоритмом балансировки.

Ключевые слова: видео-конференц-связь, BigBlueButton, программно-аппаратный комплекс, балансировка нагрузки в кластере, нагрузочное тестирование, дистанционное образование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Марков А. Н., Парамонов А. И. Анализ работы балансировщика нагрузки сервиса видео-конференц-связи. *Цифровая трансформация*. 2022; 28(2): 43-51.

LOAD BALANCER OPERATION ANALYSES OF VIDEO-CONFERENCE SERVICE

ALEKSEY N. MARKOV, ANTON I. PARAMONOV

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

Submitted 11 April 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The need to implement balancing of the video conferencing service (VCS) when used in educational processes is shown. The structure of building a VCS with a load balancer is considered. A computer experiment is being conducted on the VCS. Based on the results of a computer experiment, graphs were generated for the

selected BigBlueButton VCS with a load balancer. The graphs of the load on the hardware components of the virtual server at three stages of testing for the central processor, RAM, and network interfaces both within the service and in the structure of the local computer network are given. The results of the analysis of graphs are described in order to identify the key features of the operation of the video conferencing service with a load balancer. The most loaded hardware components of the virtual server are determined. The problems of service operation with the chosen balancing algorithm are formulated.

Keywords: video conferencing, BigBlueButton, hardware and software system, cluster load balancing, load testing, distance education.

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

For citation. Markov A. N., Paramonov A. I. Load Balancer Operation Analyses of Video-Conference Service. *Digital Transformation*. 2022; 28(2): 43-51.

Введение

В ходе реализации проекта цифровой трансформации образования, на этапе перехода к смешанной модели обучения в рамках системы электронного обучения в УО БГУИР был внедрен сервис видео-конференц-связи (ВКС) BigBlueButton (BBB) [1, 2]. Однако в процессе интеграции видеосервиса в учебный процесс БГУИР была выявлена проблема повышенной нагрузки на единичный сервер, которая описана в работе [3]. На этапе тестовой эксплуатации эмпирическим путем было установлено, что увеличение аппаратных ресурсов сервера BigBlueButton относительно первоначально заданных параметров не приносит значительного прироста производительности сервиса в целом. Так, например, при проведении видеоконференции в формате «один спикер (лектор) и более пятидесяти участников» возникает ряд проблем: неустойчивая трансляция изображения в потоке и на оконечных устройствах, трудности с подключением новых пользователей к видеоконференции, рассинхронизация мультимедийного потока и другие. Также возникают ошибки синхронизации по времени, ошибки входа новых пользователей, ошибки при добавлении видеопотока. После прохождения этапа тестовой эксплуатации необходимо гарантировать стабильность подключения к сервису и качество видеопотока видеоконференции независимо от оконечных устройств пользователей. Одной из главных причин нестабильности подключений и ненадлежащего качества видеопотока является превышение допустимого числа подключений к сервису. Один из путей решения данной проблемы лежит в организации кластера серверов для распределения пользователей в зависимости от загрузки каждого сервера и устранения задержек на этапах подключения к видеоконференции.

Организация балансировки нагрузки сервиса видео-конференц-связи

Для обеспечения качественного сервиса видео-конференц-связи было принято решение по объединению вычислительных мощностей нескольких серверов в единый вычислительный кластер. С целью распределения потоков слушателей, а соответственно и нагрузки на серверы, был внедрен балансировщик нагрузки на сервис ВКС. Балансировщик предоставляет доступ к большему объему ресурсов и распределяет нагрузку по подключенным в кластер серверам в зависимости от количества пользователей на хосте. В основе работы балансировщика применен алгоритм Round Robin DNS (*RR DNS*) – алгоритм распределения нескольких задач (потока запросов) или/и нагрузки распределенных вычислительных систем методом перебора и упорядочения элементов по круговому циклу [4]. В простейшем случае *RR DNS* работает, отвечая на запросы не только одним *IP*-адресом, а списком из нескольких адресов серверов, предоставляющих идентичный сервис. Порядок, в котором возвращаются *IP*-адреса из списка, основан на алгоритме *RR*. С каждым ответом последовательность *ip*-адресов меняется. Как правило, простые клиенты пытаются устанавливать соединения с первым адресом из списка, таким образом разным клиентам будут выданы адреса разных серверов, что распределит общую нагрузку между серверами. В системах ВКС *RR DNS* является распространенным методом балансировки и используется в реализации веб-сервисов и сервисов ВКС (например Skype for Business (URL: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/skypeforbusiness/plan-your-deployment/network-requirements/load-balancing>)).

В свою очередь, аппаратная реализация балансировки хоть и весьма эффективное, но очень дорогостоящее решение, которое рекомендуется к применению в условиях высоконагруженных кластерных систем. Для подсистемы дистанционного обучения любого учреждения образования такой подход экономически нецелесообразен в силу небольшого (до 5000) количества одновременных пользователей системы. Следует отметить, что попытка балансировки ресурсов на клиентской стороне, при которой непосредственно пользователь при недоступности ресурса (сервера) выбирает другой из перечня возможных, приводит к усложнению процессов подключения к системе видео-конференц-связи и администрирования самой конференции, а также к невозможности организации кабинетов в самой системе.

Предлагаемая в работе схема реализации балансировщика нагрузки в пределах вычислительного кластера представлена на рис. 1.

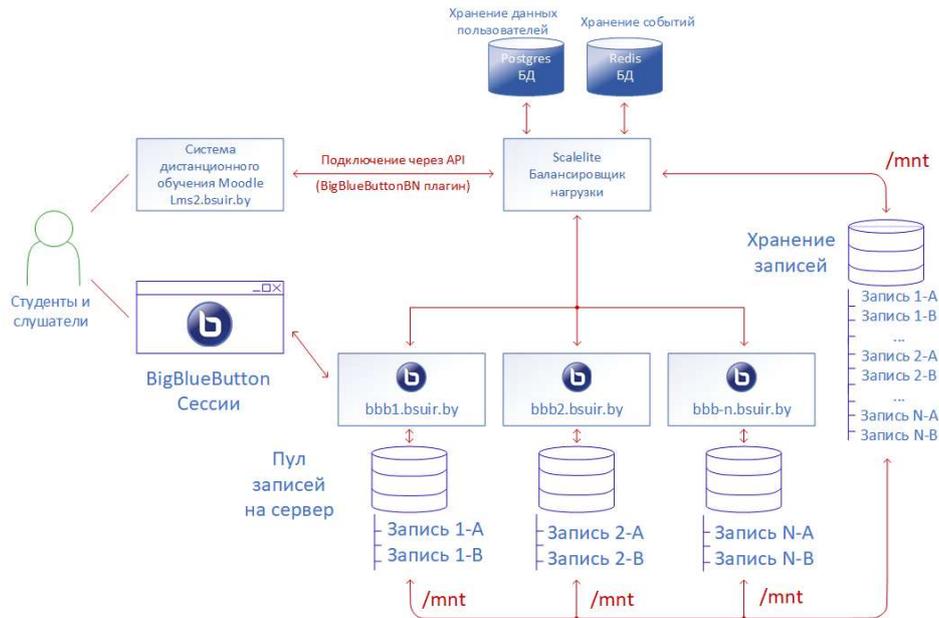


Рис. 1. Схема организации вычислительного кластера видео-конференц-связи
Fig. 1. Scheme of organizing a computing cluster of videoconferencing

Компьютерный эксперимент

Проверка балансировщика нагрузки проводилась методом нагрузочного тестирования с использованием внешних и внутренних сетей и каналов связи. Методика проведения тестов заключалась в оценке параметров работоспособности как по контрольным точкам – времени задержки и отклика входа пользователя в конференцию, времени подключения к кабинету, контроля загрузки процессора, памяти, нагрузки на сеть (как в целом, так и по интерфейсам локальной сети и провайдера), занятости кеш-памяти с выгрузкой на дисковый массив, так и в визуальном контроле качества работоспособности системы, который включает в себя контроль за рассинхронизацией аудио- и видеопотока на момент проведения видеоконференции, задержки при декодировании конечного мультимедийного потока на оконечных устройствах пользователей, контроль за пропуском пакетов на этапе передачи мультимедиа потока в режиме реального времени по сети. В связи с тем, что количественные показатели работы сервиса в целом не дают достоверной оценки работоспособности ВКС, для большей объективности в данном эксперименте рекомендуется не пренебрегать качественными характеристиками видеоконференции.

Составлен общий план проведения тестирования в рамках эксперимента, который включает следующие шаги.

1. Формируются три видеоконференции.
2. Каждая из конференций запускается поочередно и начинается подключение участников.
3. В процессе подключения новых участников и на этапе проведения всей конференции демонстрируется видеопоток для выявления рассинхронизации мультимедиа.

4. На этапах подключения пользователей периодически воспроизводится поток с веб-камеры спикера с демонстрацией экрана.

5. После подключения более сотни пользователей поток начинает нагружаться включенными видеотрансляциями участников конференций (демонстрация изображений с веб-камер пользователей).

6. Определяются проблемы подключения, отслеживаются показатели нагрузки на аппаратные компоненты сервера в кластере, оконечного оборудования пользователей и каналов связи.

Тестирование организовано на различных по конфигурации серверах в кластере, для которых выделены следующие ресурсы: *BBB1* (4 core CPU, 12 Gb RAM), *BBB2* (8 core CPU, 14 Gb RAM) и *BBB3* (12 core CPU, 16 Gb RAM).

После проведения нагрузочного тестирования были получены данные для анализа работоспособности вычислительного кластера в целом и балансировщика в кластере системы ВКС. Данные, полученные в результате тестирования, включают распределение числа пользователей по времени и распределение нагрузки на ресурсы серверов в кластере в зависимости от загруженности.

Оценивая временные графики модели нагрузочного тестирования на трех этапах, можно отметить плавный рост количества пользователей за единицу времени (рис. 2).

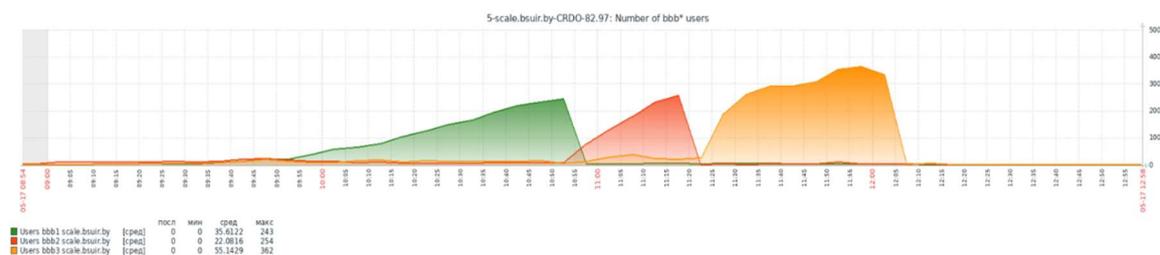


Рис. 2. Графики нагрузки количества пользователей на вычислительный кластер ВКС (график слева – нагрузка по количеству пользователей на этапе тестирования *BBB1*, график по центру – *BBB2*, график справа – *BBB3*)

Fig. 2. Graphs of the load of the number of users on the computing cluster of the video conferencing network (graph on the left – load by the number of users at the *BBB1* testing stage, graph on the center – *BBB2*, graph on the right – *BBB3*)

При организации вычислительного кластера предельные значения гарантированной работоспособности системы ВКС значительно превышают номинальные в полтора раза, а в некоторых случаях – при расширении сервера *BBB3* – более чем в два раза с учетом выделенных ресурсов оборудования.

Рост количества пользователей в единицу времени пропорционально загружает вычислительные мощности. Так, для сервера *BBB1* при подключении более двухсот пользователей параметры нагрузки на центральный процессор выросли и превысили 100%-ную загрузку. Параметр использования центрального процессора количественный, по оценке данного параметра можно судить только о превышении предельных значений выделенных ресурсных мощностей (рис. 3, а).

При оценке качества видеоконференции в совокупности с загрузкой аппаратных ресурсов можно отметить, что при превышении загрузки центрального процессора более, чем на 70%, появляются значительные временные задержки на этапе подключения к видеоконференции. Рост нагрузки свыше 100% обусловлен повышенным числом запросов за короткий промежуток времени к сервису ВКС для распределения и подключения к конференции. Вследствие малого временного интервала нет возможности моментально распределить пользователей. Стоит отметить, что загрузка выше 100% наблюдается и на сервере *BBB2* с увеличенными аппаратными ресурсами (рис. 3, б).

При расширении мощностей на третьем сервере *BBB3* до 12 ядер нагрузка, превышающая 100% на момент подключения, обусловлена проведением нагрузочного тестирования до момента максимальной загрузки сервера пользователями, при котором без подключения видеопотока сохранялось качество связи (рис. 3, в).

Стоит отметить, что при превышении отметки в 273 пользователя уже наблюдались значительные задержки на подключении пользователей к конференции, задержки при демонстрации мультимедийного потока и спикера через веб-камеру.

Максимальное же количество пользователей превысило отметку 350, но стабильная работоспособность сервиса при таком количестве не гарантируется.

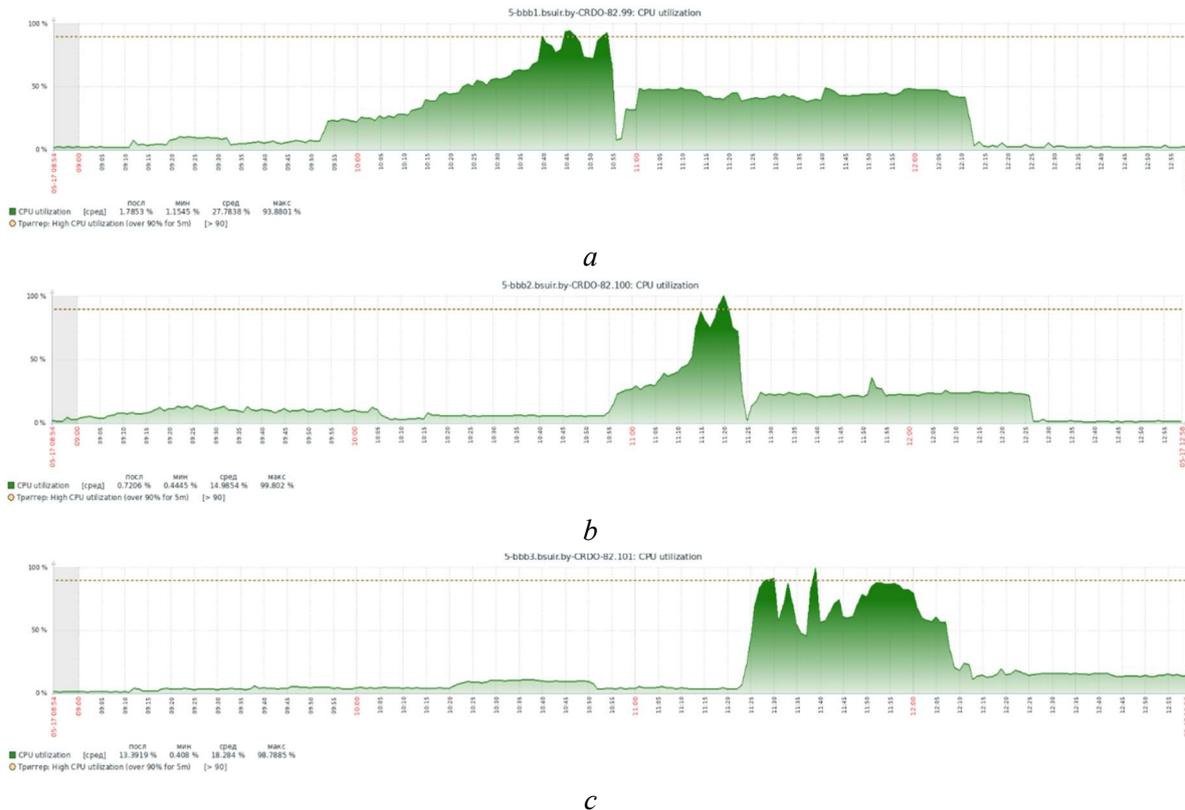


Рис. 3. График нагрузки центрального процессора сервера: *a* – *BBB1*; *b* – *BBB2*; *c* – *BBB3*
Fig. 3. Server CPU load graph: *a* – *BBB1*; *b* – *BBB2*; *c* – *BBB3*

К вопросу о загрузке оперативной памяти на кластере можно отметить, что превышение отметки загрузки в 50 % связано только с процессом кеширования промежуточных данных пользователей. Однако, учитывая столь незначительную загрузку на всех тестируемых кластерах *BBB1* и *BBB2*, можно нагрузку считать минимальной.

При этом следует учесть, что на этапах тестирования кластеров *BBB1* и *BBB2* не тестировался мультимедийный поток с веб-камер пользователей. Графики полученных нагрузок представлены на рисунках 4, *a* и 4, *b*.

На рис. 4, *c* представлен график нагрузки при эксперименте, когда на этапах тестирования в мультимедийный поток добавился еще поток от веб-камер пользователей. В этом случае можно увидеть, что процент прироста загрузки на оперативную память имеет пиковое значение 65% (что составляет около 10 Gb при максимальном ресурсе 16 Gb).

На сервере *BBB3* на этапе тестирования отслеживались также параметры загрузки локальной вычислительной сети. Мониторинг загрузки кластера по сети осуществлялся по внутреннему и внешнему каналам связи, которые подключены к 192 и 160 интерфейсам (подсетям) соответственно. При этом нагрузка сети при трансляции видео с веб-камер пользователей идет по внутренней сети. Графики загрузки интерфейсов представлены на рис. 5, *a* и 5, *b*.

Видеопоток в случае внутренней сети достигает загрузки сети около 150 Мбит/с, что критично при построении сети на неуправляемых коммутаторах из-за пропускной способности матрицы и объединяющего канала. В случае выхода во внешнюю сеть провайдера, а также вход из внешней сети, нагрузка в средних значениях не превышает 7 Мбит/с. Таких показателей производительности компьютерной сети достаточно для стабильной работы ВКС даже при ограниченном канале связи со скоростями до 20 Мбит/с.

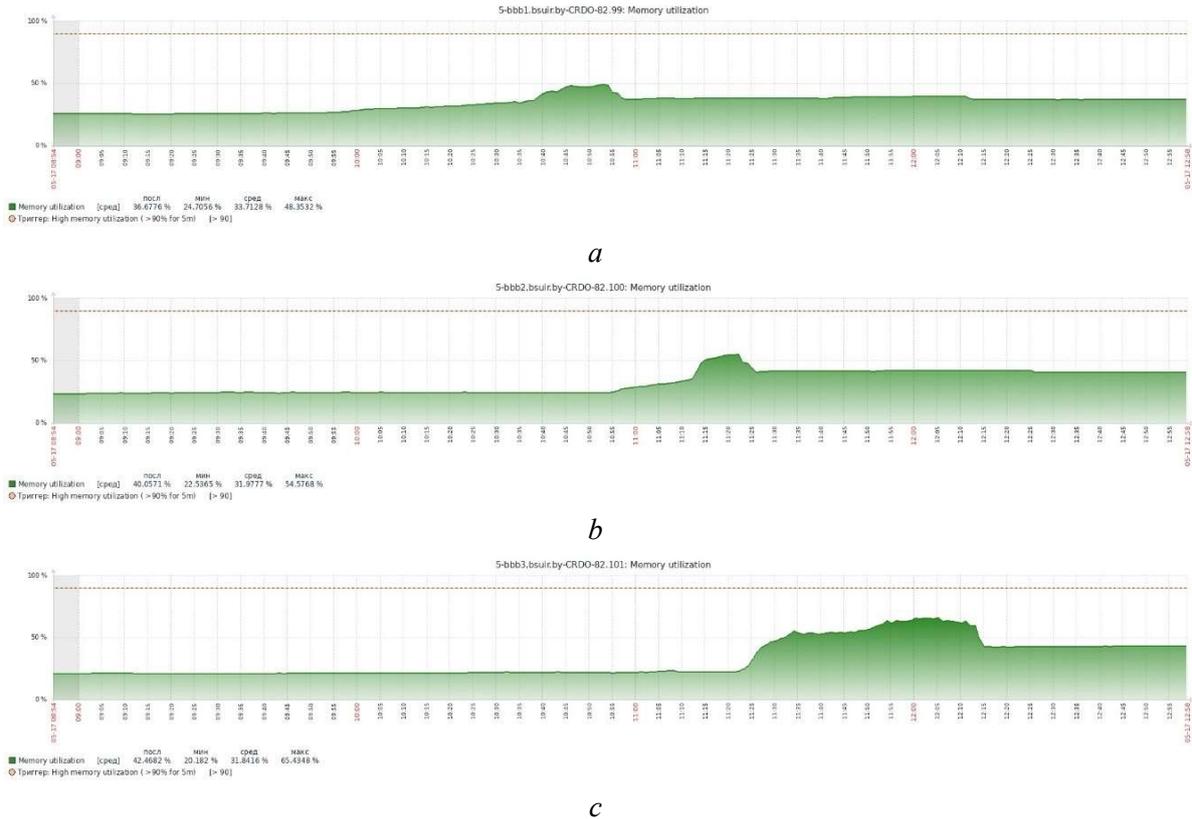


Рис. 4. График нагрузки оперативной памяти сервера: *a* – BBB1; *b* – BBB2; *c* – BBB3
Fig. 4. Server RAM load graph: *a* – BBB1; *b* – BBB2; *c* – BBB3

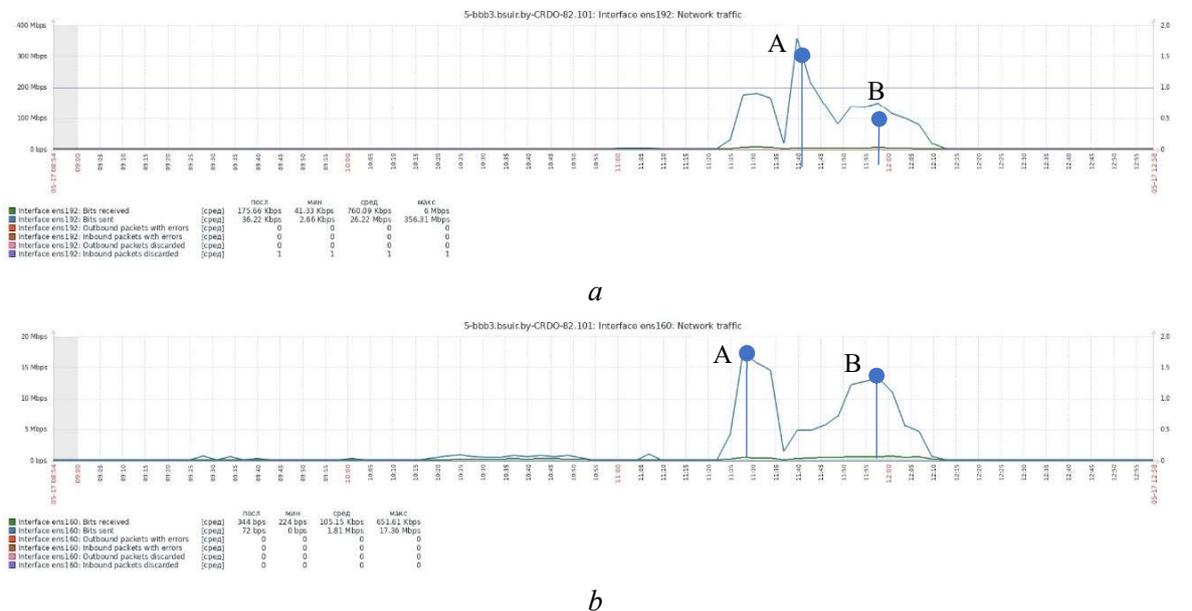


Рис. 5. График нагрузки интерфейса: *a* – сети Интернет на сервере BBB3; *b* – внутренней локальной сети на сервере BBB3

Fig. 5. Load graph of the interface: *a* – of the Internet on the BBB3 server; *b* – internal LAN on the BBB3 server

Выделенные пики графика загрузки сети (на рис. 5, *a* и 5, *b* обозначены точками А и В) связаны с подключением внешнего сервиса хранения видео с трансляцией видео в видеоконференц-связи (в данном эксперименте было подключение к YouTube). Стоит отметить, что видео со стороннего сервиса кешируется в поток, но не оказывает на оперативную память критического влияния, а работает как веб-трансляция, тем самым не перегружая поток.

На этапе проведения тестирования сервера *BBB3* при задействовании веб-камер на оконечных устройствах был достигнут стабильный режим работы ВКС в пределах до 270 пользователей. Дальнейшее повышение нагрузок сервер обработал, но качество конференции ухудшилось (возникли ошибки передачи мультимедиа потока, пропуск пакетов видеоизображения, что сказывается на итоговой картинке для пользователя, однако не отображено на графиках нагрузки).

Тестирование вычислительного кластера проводилось как внутренними пользователями (внутри локальной вычислительной сети учреждения образования), так и внешними пользователями, подключенными через провайдеров. На этапе тестирования были задействованы компьютерные классы, расположенные в разных учебных корпусах (1-й учебный корпус, кафедральные аудитории и 8-й учебный корпус), и опорный коммутатор, который расположен отдельно от классов (в пятом учебном корпусе). Нагрузка на опорный коммутатор крыла первого корпуса (кафедральные аудитории) представлена на рис. 6, *a*.

При сопоставлении графика нагрузки на пропускную способность коммутатора с графиком нагрузочного тестирования, пики на графике нагрузки обусловлены моментами подключения большого количества пользователей к видеоконференции. Однако даже в момент подключения средняя нагрузка на пропускную способность коммутатора составила 40 Мбит/с.

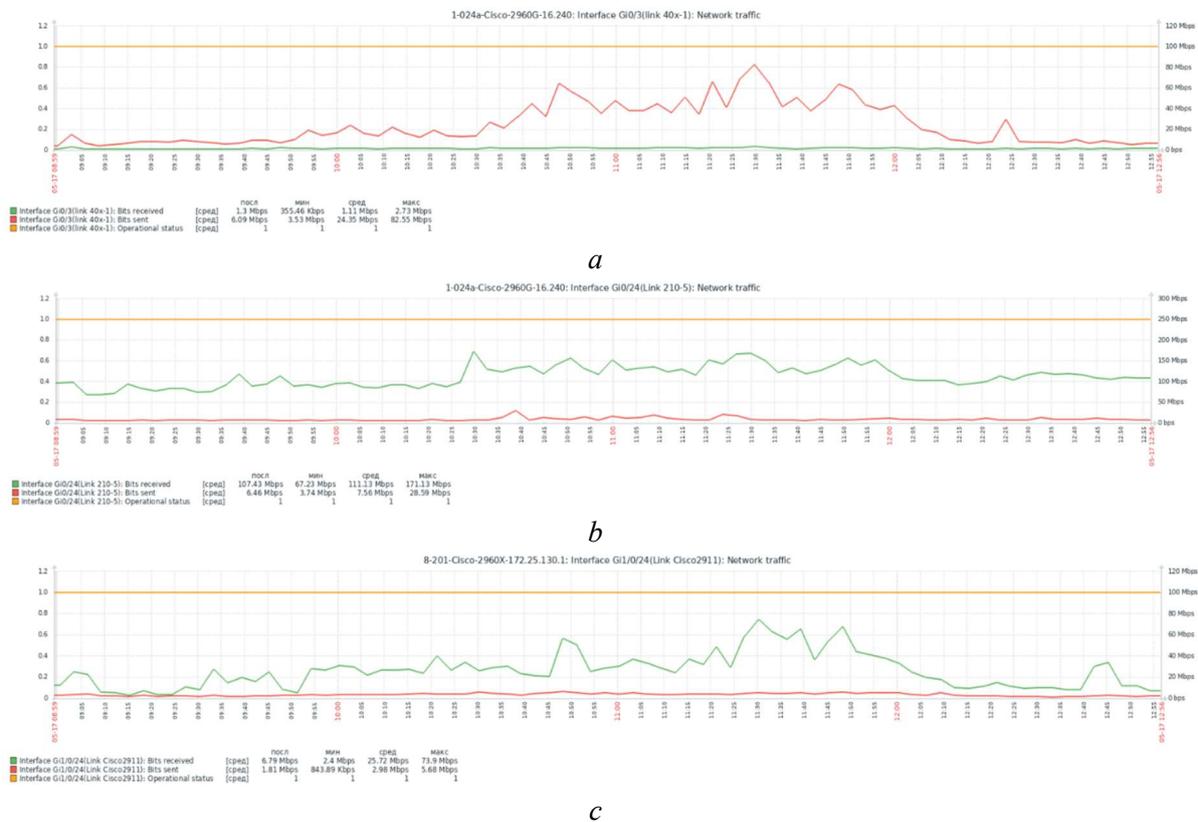


Рис. 6. График нагрузки на пропускную способность коммутатора *a* – 4 этажа 1 корпуса; *b* – между 1 и 5 корпусами

Fig. 6. Switch Bandwidth Graph *a* – 4 floor of building 1; *b* – between buildings 1 and 5; *c* – between buildings 5 and 8

Графики нагрузки пропускной способности опорных межкорпусных коммутаторов демонстрируют отсутствие значительного влияния ВКС на производительность сети. Это отражено отсутствием четко выделенных пиков в моменты времени проведения нагрузочного тестирования (рис. 6, *b*, *c*), что обусловлено средней загрузкой локальной сети на период проведения нагрузочного тестирования.

Однако при оценке графика нагрузки на пропускную способность локальной сети от провайдера (опорный коммутатор в 5-м корпусе с выходом на провайдера МТС) можно выделить два явных пика в нагрузке (моменты в точках А и В на рис. 7).

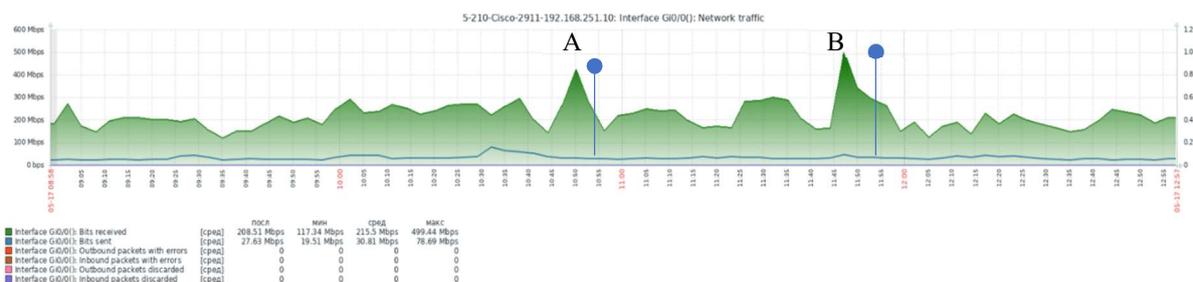


Рис. 7. График нагрузки на пропускную способность входного коммутатора от провайдера Интернета
Fig. 7. Graph of the load on the bandwidth of the incoming switch from the Internet provider

Эти пики (точки А и В на рис. 7) возникают в моменты включения в конференцию потокового видео высокого качества со стороннего сервиса хранения видеозаписей (например YouTube). При этом одновременно идет демонстрация экрана пользователя-лектора и web-трансляция видео. Можно наблюдать, что пики кратковременные (непродолжительны), так как видео загружается в оперативную память (кешируется) и воспроизводится уже с памяти.

Заключение

Реализация кластерного вычисления с организацией балансировки нагрузки в значительной степени позволяет увеличить количество пользователей конференции относительно документированных значений сервиса BigBlueButton и зависит напрямую от производительности кластера.

Алгоритм балансировки нагрузки с применением балансировки на уровне *DNS* позволяет распределять пользователей только в зависимости от доступности ресурса (хоста), но не позволяет учитывать загруженность аппаратных ресурсов.

Определены наиболее загруженные компоненты кластера (центральный процессор, задействованный на этапе подключения пользователей для выполнения алгоритма балансировки нагрузки). Нагрузка на оставшиеся аппаратные ресурсы вычислительного кластера в пределах допустимых значений. Нагрузка на аппаратные ресурсы другого оборудования будет зависеть от производительности кластера и выделенных серверов в кластере, а именно – алгоритм балансировки задействует вычислительные мощности процессора, тем самым чем производительнее будет процессор в ином кластере, тем производительнее будет работать сервис балансировки нагрузки.

Для оптимального распределения больших потоков пользователей видеоконференции требуется изменение и доработка алгоритма балансировки нагрузки, учитывающего загрузку аппаратных ресурсов выделенных серверов в вычислительном кластере.

Список литературы

1. Парамонов, А. И. Проблемы дистанционного образования и их прикладные решения в образовательных технологиях / А. И. Парамонов // Высшее техническое образование : проблемы и пути развития = Engineering education: challenges and developments : материалы X Международной научно-методической конференции, Минск, 26 ноября 2020 года / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск : БГУИР; 2020. – С. 182–187.
2. Марков, А. Н. Готовность учреждений высшего образования к цифровой трансформации процессов / А. Н. Марков., С. А. Мигалевич // Цифровая трансформация. – 2021. – №2. – С. 64–68.
3. Марков, А. Н. Выбор сервиса видеоконференцсвязи и его адаптация под учреждение образования / А. Н. Марков, Р. О. Игнатович, А. И. Парамонов // Информатика. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 17–25. doi.org/ 10.37661/1816-0301-2021-18-4-17-25.
4. Cricket, Lui. DNS and BIND (5th Edition) Fifth Edition / Cricket Lui, Paul Albitz.: O'Reilly Media, Inc., 2006.

References

1. Paramonov, A. I. Distance education problems and their applied solutions in educational technologies. / A. I. Paramonov // Vysshee tehnikeskoe obrazovanie: problemy i puti razvitija : materialy X Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii, Minsk, 26 nojabrja 2020 g. Ministerstvo obrazovanija Respubliki Belarus', Belorusskij gosudarstvennyj universitet informatiki i radiojelektroniki [Engineering Education: Challenges and Developments: Materials of the X International Scientific and Methodological Conference, Minsk, 26 November 2020. Ministry of Education of the Republic of Belarus, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics]. – Minsk, BSUIR; 2020. – P. 182–187. (In Russ.).
2. Markov, A. N. Readiness of higher education institutions for digital transformation processes. / A. N. Markov, S. A. Migalevich. // Digital Transformation. – 2021. – No 2. – P. 64–68 (In Russ.).
3. Markov, A. N. Choosing a video conferencing service and its adaptation for educational institution. / A. N. Markov., R. O. Ihnatovich., A. I. Paramonov. // Informatics. – 2021. – Vol. 18, No 4. – P. 17–25. (In Russ.)
4. Cricket, Lui. DNS and BIND (5th Edition) Fifth Edition / Cricket Lui, Paul Albitz.: O'Reilly Media, Inc., 2006.

Вклад авторов

Марков А. Н. проанализировал проблемы внедрения видео-конференц-связи, определил и описал специфику внедрения балансировщика нагрузки сервиса видео-конференц-связи, осуществил сбор статистических данных компьютерного эксперимента и сформулировал результаты исследования.

Парамонов А. И. сформулировал ключевые цели и задачи исследования, определил план статьи и структуру эксперимента. Оба автора участвовали в интерпретации и анализе полученных данных компьютерного эксперимента.

Authors' contribution

Markov A. N. analyzed the problems of implementing videoconferencing, identified and described the specifics of implementing a videoconferencing service load balancer, collected statistical data of a computer experiment and formulated the results of the study.

Paramonov A. I. formulated the key goals and objectives of the study, determined the plan of the article and the structure of the experiment. Both authors participated in the interpretation and analysis of the data obtained from the computer experiment.

Сведения об авторах

Марков А. Н., аспирант, заместитель начальника Центра информатизации и инновационных разработок Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Парамонов А. И., к. т. н., доцент, заведующий кафедрой информационных систем и технологий Института информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Markov A. N., Postgraduate, Deputy Head of the Center for Informatization and Innovative Development of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Paramonov A. I., Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Technologies of the Institute of Information Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Платонова, 39,
Центр информатизации и инновационных
разработок Белорусского государственного
университета информатики и радиоэлектроники;
тел. +37517-293-86-04 (раб.);
e-mail: a.n.markov@bsuir.by
Марков Алексей Николаевич

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Platonova St., 39,
Center for Informatization and Innovative
Developments of the Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics;
tel. +37517-293-86-04;
e-mail: a.n.markov@bsuir.by
Markov Aleksey Nikolaevich



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-52-60>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.4

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ

О. Н. ВИНИЧУК, В. И. ДРАВИЦА

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
филиал «Минский радиотехнический колледж»
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Поступила в редакцию 20 июня 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. В последние годы существенно возрос интерес к цифровой обработке изображений, поэтому совсем не случайно, что цифровая обработка – одно из интенсивно развиваемых направлений исследования. При работе с компьютерной системой достаточно важным фактором является качественное отображение изображений, вследствие чего не менее важным фактором являются и методы обработки и улучшения изображений, которые не только отвечают за качественное отображение, но и позволяют сделать интересующие детали на изображении более заметными. Сегодня достаточно сложно найти приложение или веб-приложение с простым и удобным интерфейсом, а также с относительно низкими характеристиками по энергозатратам на операционную систему и устройство в целом. В данной статье представлены новые алгоритмы, которые позволяют повысить эффективность обработки изображений за счет сокращения времени загрузки приложения и самой обработки, а также снижения нагрузки на операционную систему.

Ключевые слова: веб-приложение, обработка изображений, обработка изображений больших объемов.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. О. Н. Виничук, В. И. Дравица. Разработка алгоритмов обработки изображений больших объемов. *Цифровая трансформация*. 2022; 28(2): 52-60.

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR PROCESSING IMAGES OF LARGE VOLUMES

OLGA N. VINICHUK, VIKTOR I. DRAVITSA

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics,
Branch "Minsk Radio Engineering College" (Minsk, Republic of Belarus)*

Submitted 20 June 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. In recent years, interest in digital image processing has increased significantly, so it is no coincidence that digital processing is one of the intensively developed areas of research. When working with a computer

system, a rather important factor is the high-quality display of images, as a result of which the methods of processing and improving images are no less important factors, which are not only responsible for the high-quality display of the image, but also allow to increase the visibility of interesting details in the image. Today it is quite difficult to find an application or a web application with a simple and user-friendly interface, as well as with relatively low characteristics in terms of energy consumption needed to supply the operating system and the device in general. This article presents new algorithms that improve the efficiency of image processing by reducing application loading and processing time, as well as by reducing the load on the operating system.

Keywords: web application, image processing, large volume image processing.

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

For citation. Vinichuk O. N., Dravitsa V. I. Development of Algorithms for Processing Images of Large Volumes. *Digital Transformation*. 2022; 28(2): 52-60.

Введение

Основой создания любого приложения являются алгоритмы работы различных его частей. При выборе алгоритма важно проанализировать основные функции, которыми будет обладать разрабатываемое приложение.

Основной функционал, который отвечает за обработку изображений, хранится в библиотеке EaselJS [1]. Библиотека EaselJS была выбрана неслучайно: она облегчает работу с элементом Canvas – элемент HTML5, предназначенный для создания растрового двухмерного изображения при помощи JavaScript. На рис. 1 представлена блок-схема подключения и настройки библиотеки EaselJS.

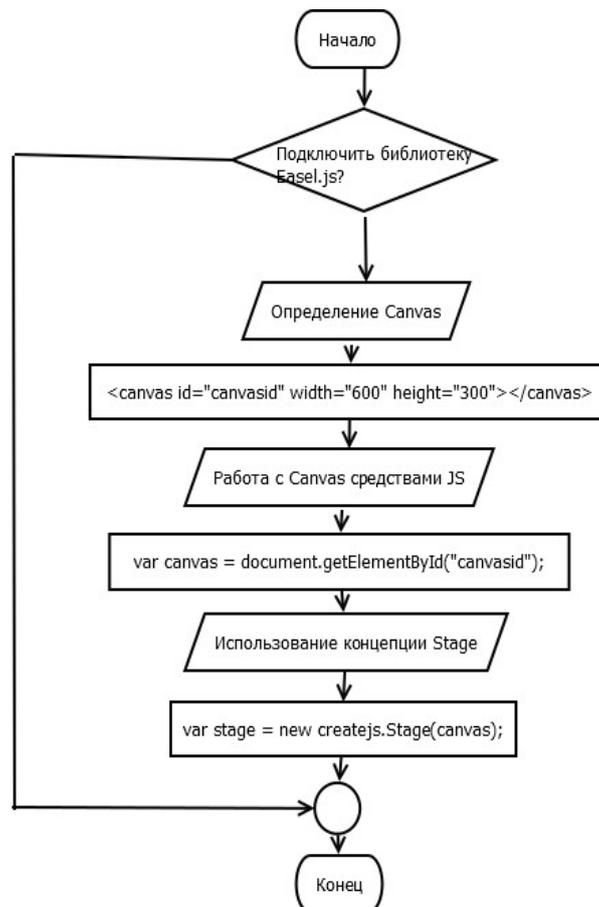


Рис. 1. Подключение библиотеки EaselJS.js
Fig. 1. Connecting the EaselJS.js library

У библиотеки EaselJS имеется класс Graphics, который предоставляет легкий в использовании API (программный интерфейс приложения) для создания инструкций векторного рисунка и прорисовывания их на указанный контекст [1, 2]. Команды EaselJS очень похожи на те, что используются в обычном Canvas HTML5. Вместе с тем, в EaselJS имеются и некоторые отличия для работы с Canvas.

Приложение для обработки изображений

В разработанном приложении реализованы функции посредством класса Filter. Как известно, класс Filter – это базовый класс, от которого наследуются свойства всех остальных фильтров [1]. Фильтры применяются к объектам, которые были помещены в кеш компьютера при помощи метода кеширования (cache). Если объект изменяется, необходимо поместить данный объект в кеш снова или использовать updateCache(). Необходимо также отметить, что фильтры должны быть применены перед помещением изображения в кеш. В этой связи использование библиотеки EaselJS является оправданным, так как появляется возможность использовать (применить) ряд предварительно созданных фильтров. Вышеописанный процесс представлен на рис. 2.

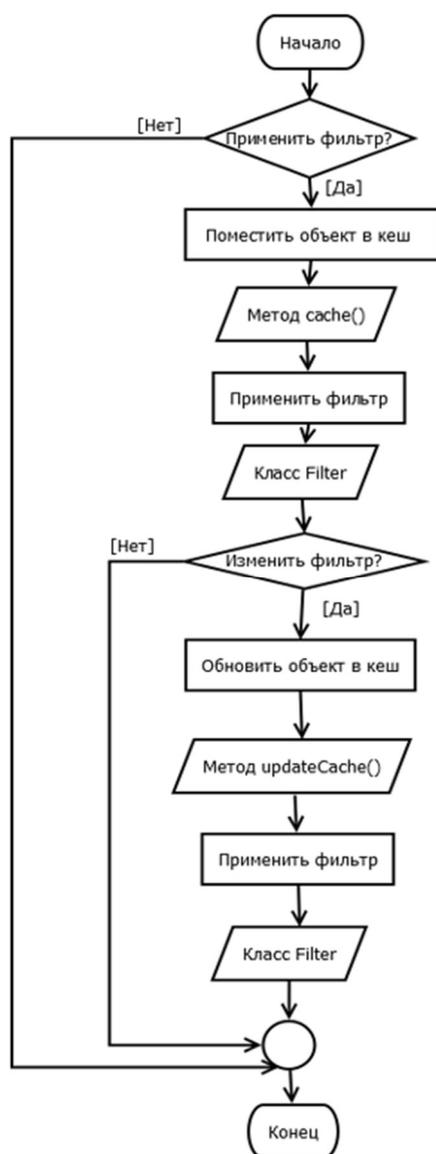


Рис. 2. Процесс применения фильтра к изображению
 Fig. 2. The process of applying the filter to an image

На рис. 3 представлена схема алгоритма работы приложения. Основные функции веб-приложения здесь отображены в виде блоков алгоритма.

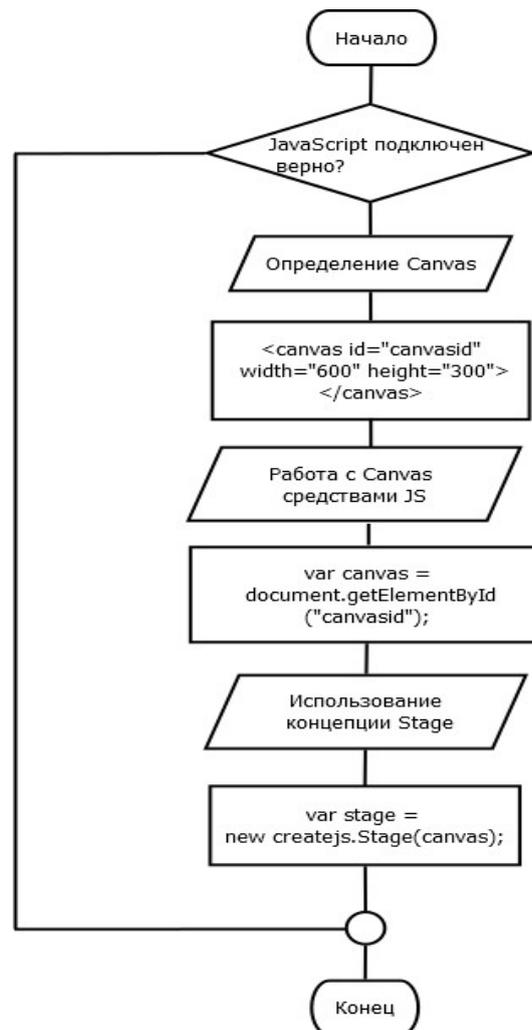


Рис. 3. Схема алгоритма работы приложения
Fig. 3. Scheme of the algorithm of the application

Новизна представленного алгоритма состоит в том, что работа над изображением реализована посредством HTML элемента, который используется для представления графики средствами языков программирования, в частности JavaScript.

При работе с веб-приложением для обработки изображений большого объема необходимо учитывать тот факт, что вся работа таких приложений построена на скриптах языка JavaScript. Ввиду этого при построении общего алгоритма идет проверка на подключение скриптов. Т.е. если скрипты в веб-приложении отсутствуют, то можно завершать работу с приложением и обработка изображений будет недоступна. Если же все скрипты подключены корректно, то следующим шагом будет определение рабочей области, а именно области Canvas, на которую помещаются изображения для последующей обработки. После того, как инициализирована рабочая область и помещено изображение, происходит основная работа веб-приложения. С рабочей области Canvas средствами JavaScript происходит получение объекта-изображения и, в зависимости от действий пользователя, производится его обработка [2].

Для применения фильтров в веб-приложении реализована универсальная функция `applyFilter()`, что, несомненно, сокращает время обработки изображения. Данная функция используется во всех применениях фильтров к цифровому изображению. Блок-схема алгоритма работы функции `applyFilter()` представлена на рис. 4 [1].

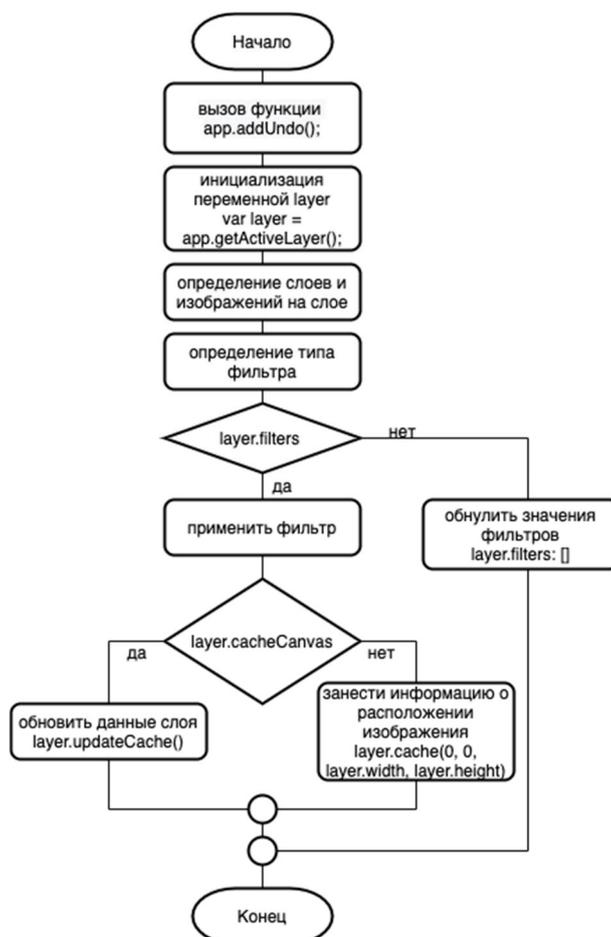


Рис. 4. Алгоритм работы функции applyFilter()
Fig. 4. The algorithm of the applyFilter() function

Для работы функции applyFilter() необходима инициализация и вызов функции addUndo(), которая отвечает за преобразование данных слоя и сохранение данных об изображении в буфере.

Ввиду того, что на рабочую область можно добавить несколько изображений, а каждое из изображений добавляется в качестве отдельного слоя, который можно скрыть, необходимо было реализовать функцию, которая определяет, скрыт ли слой – функция getActiveLayer(). При написании алгоритма для обработки изображений был использован механизм функций-конструкторов.

В качестве примера рассмотрим функцию-конструктор для добавления цветового фильтра на изображение ColorFilter. Для добавления цветового фильтра на изображение используется функция filterColorify, в которую обязательно передаются три параметра, а именно значения цветов red, green, blue в диапазоне от 0 до 255. Функция filterColorify представлена на рис. 5 [1].

```

filterColorify = function (r, g, b) {
  applyFilter(new ColorFilter(1.0, 1.0, 1.0, 1.0, r, g, b));
  hideDialog('#dialog-filtercolorify');
}
  
```

Рис. 5. Функция filterColorify
Fig. 5. Function filterColorify

Тело функции filterColorify содержит три функции:

- applyFilter() – функция применения фильтра;
- ColorFilter() – функция-конструктор;
- hideDialog() – функция, которая скрывает диалоговое окно.

Блок-схема работы алгоритма функции ColorFilter представлена на рис. 6.



Рис. 6. Алгоритм работы функции ColorFilter()
Fig. 6. The algorithm of the ColorFilter() function

В веб-приложении реализована достаточно удобная функция сохранения изображения. Сохраняется полностью рабочая область: если, например, на рабочую область добавлено несколько изображений, их не придется объединять в один слой – объединение происходит автоматически при сохранении. Блок-схема алгоритма работы сохранения изображения представлена на рис. 7 [1].

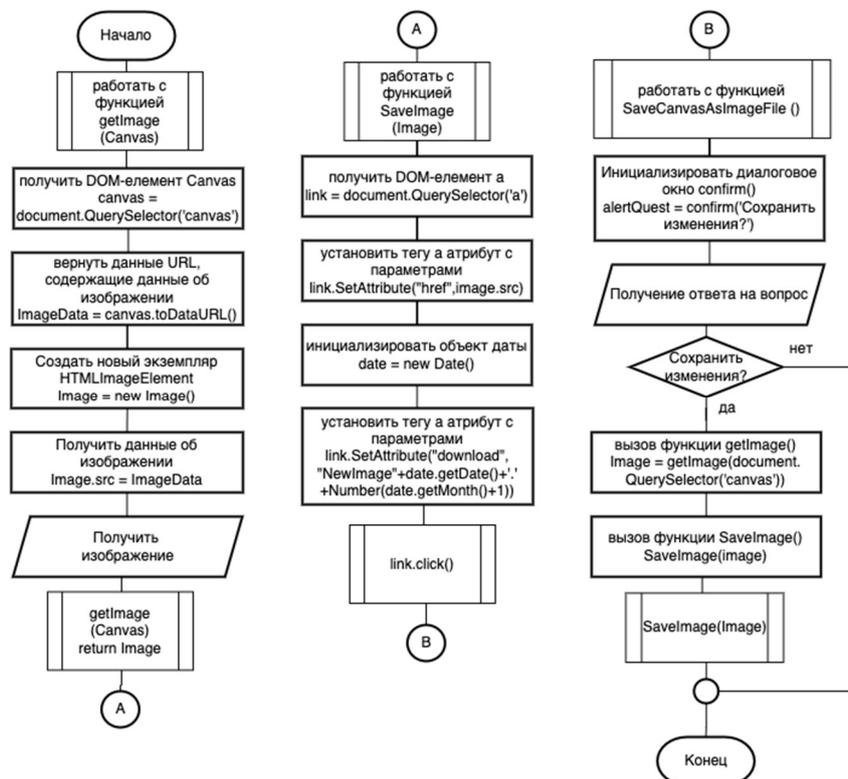


Рис. 7. Алгоритм сохранения изображения
Fig. 7. Algorithm for saving an image

Как следует из рис. 7, процесс сохранения изображения состоит из трех функций:

- getImage(Canvas);
- SaveImage(Image);
- SaveCanvasAsImageFile().

Функция SaveCanvasAsImageFile() отвечает за непосредственное сохранение данных, полученных с Canvas, поэтому включает в себя еще две функции getImage(Canvas) и SaveImage(Image) [1].

Анализ эффективности разработанного приложения

На примере веб-сайта «Photoshop Online» проведем сравнительный анализ эффективности разработанного приложения. В качестве примера проанализируем загрузку вышеназванного веб-сайта и разработанного приложения. Полная загрузка главной страницы веб-сайта «Photoshop Online» завершилась за 1,41 с (рис. 8).

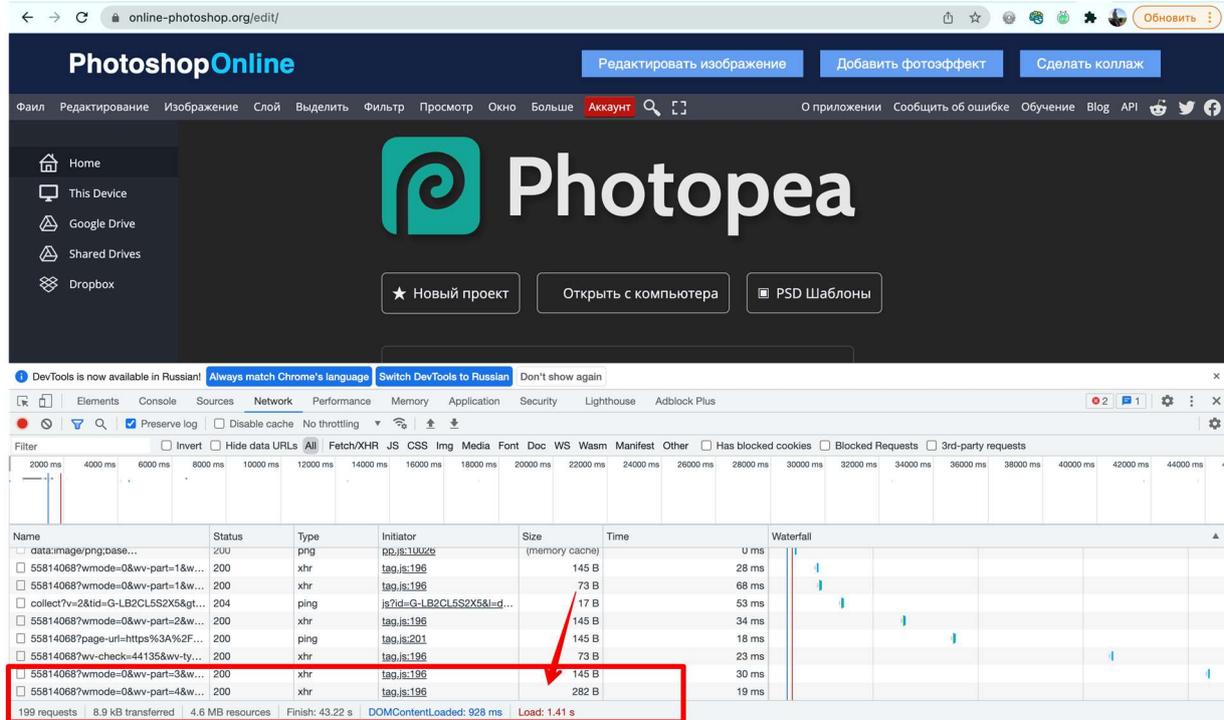


Рис. 8. Загрузка веб-сайта «Photoshop Online»
Fig. 8. Loading the website "Photoshop Online"

Полная загрузка разработанного веб-приложения завершилась за 143 мс (рис. 9).

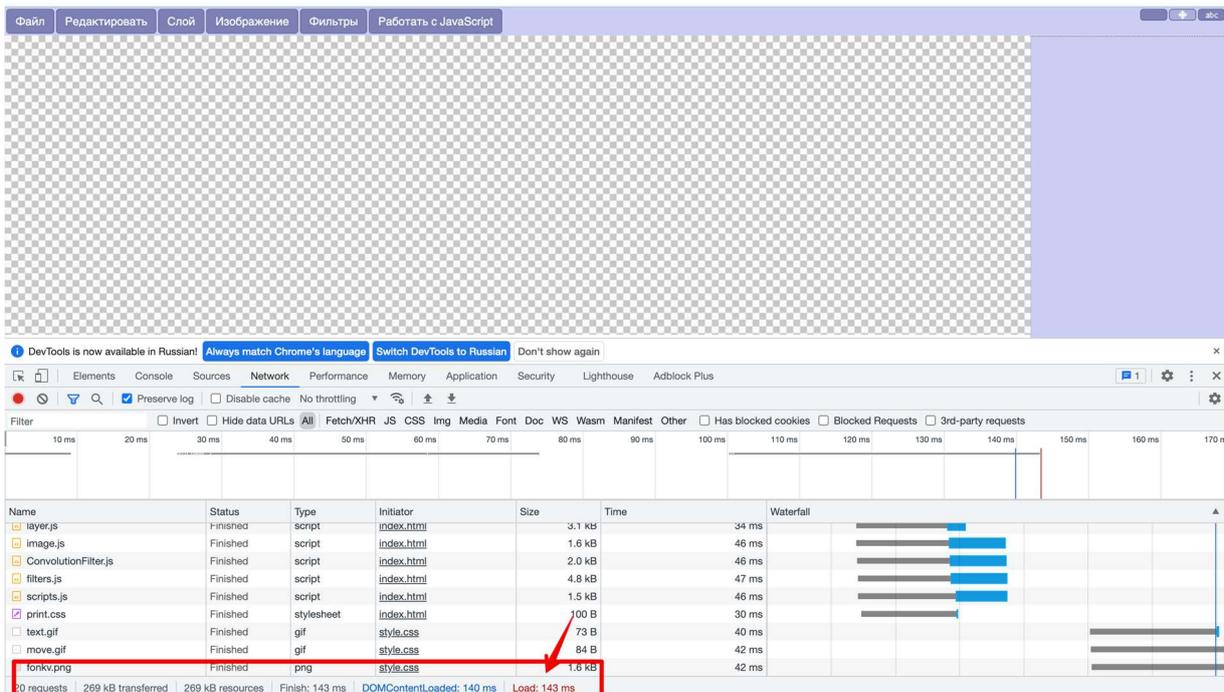


Рис. 9. Загрузка разработанного веб-приложения
Fig. 9. Loading the developed web application

Открытие и загрузка изображений для редактирования также происходит быстрее посредством разработанного веб-приложения (рис. 10). Загрузка изображения на веб-сайте «Photoshop Online» длилась 26 мс, загрузка изображения в разработанном веб-приложении – 8 мс.

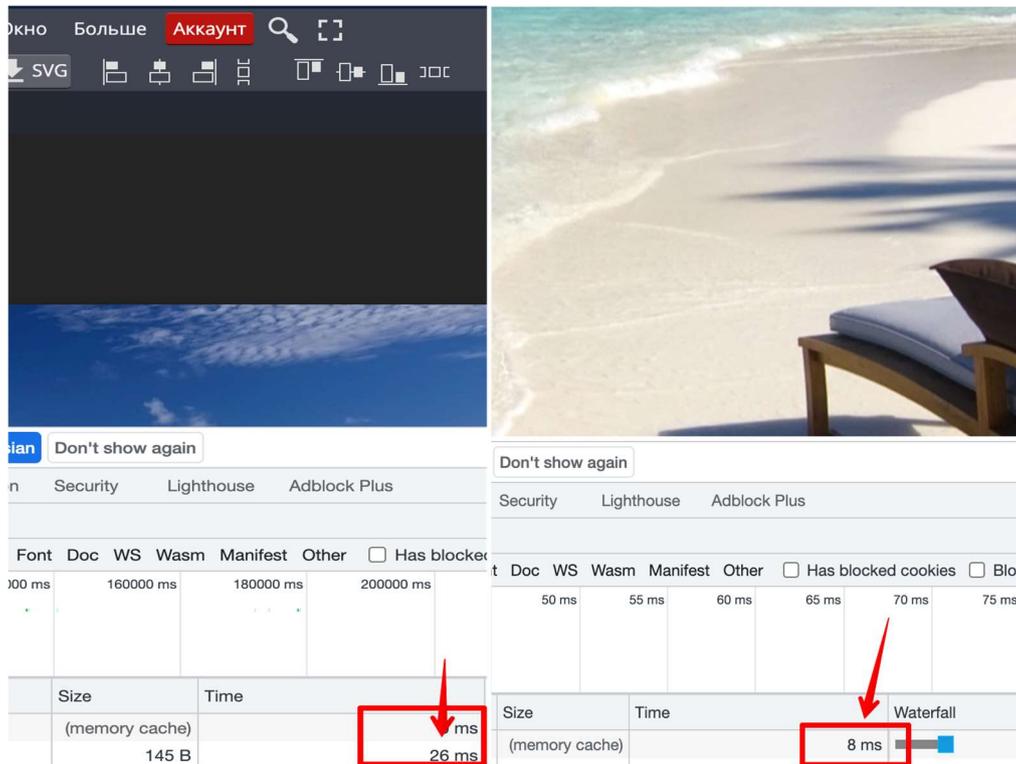


Рис. 10. Загрузка изображения на ресурсы
Fig. 10. Uploading an image to resources

Таким образом, эффективность данного алгоритма доказана на практике. Сравнительный анализ показал, что посредством разработанного алгоритма загрузка веб-приложения и изображения для обработки происходит намного быстрее, чем у приложений-аналогов. Полученные результаты будут особенно актуальны при обработке изображений больших объемов, когда время загрузки и обработки являются важными факторами, а в некоторых случаях и критическими.

Заключение

Представленный выше алгоритм работы веб-приложения является, в некотором смысле, уникальным и позволяет обрабатывать изображения различного объема без нагрузки на операционную систему, т.е. обладает относительно низкими характеристиками по энергозатратам на операционную систему и устройство в целом. Уникальность и новизна алгоритма заключаются в интеграции в разработанный код библиотеки EaselJS. Данная библиотека использует минимизированный файл js, который при загрузке браузера обрабатывается намного быстрее, чем обычный, не минимизированный файл js.

При разработке алгоритма работы веб-приложения были использованы специальные конструкции библиотеки EaselJS, которые сокращают объем реализованных функций и методов, например конструктор ColorFilter, который передает параметры RGB для цветового фильтра.

Таким образом, можно сделать вывод, что представленные алгоритмы позволяют повысить эффективность обработки изображений за счет сокращения времени загрузки приложения и самой обработки, а также за счет снижения нагрузки на операционную систему, что особенно важно, когда речь идет об обработке изображений больших объемов.

Список литературы

1. Виничук, О. Н. Разработка методов и алгоритмов цифровой обработки изображений : автореф. дис. магистра тех наук : 1-39 80 02 / О. Н. Виничук – Минск : БГУИР, 2017. – 14 с.
2. Виничук, О. Н. Веб-приложение для обработки изображений больших объемов / О. Н. Виничук – Минск : ГУ «БелИСА», 2020. – С. 23–32.
3. CoderLessons.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://coderlessons.com/articles/veb-razrabotka-articles/ispolzovanie-createjs-easeljs>. – Дата доступа: 10.02.2022.
4. Флэнаган, Д. JavaScript. Подробное руководство / Д. Флэнаган., пер. с англ. – СПб : Символ-Плюс, 2008. – С. 122–581.
5. Буч, Г. Язык UML. Руководство пользователя. / Г. Буч, Д. Рамбо, И. Якобсон. 2-е изд.: пер. с англ. Мухин Н. – М. : ДМК Пресс, 2006. – С. 281–300.

References

1. Vinichuk, O. N. Development of methods and algorithms for digital image processing: author. dis. ... master of tech. sciences : 1-39 80 02 / O. N. Vinichuk – Minsk : BSUIR, 2017. – 14 p.
2. Vinichuk, O. N. Web application for large-scale image processing / O. N. Vinichuk – Minsk : GU "BelISA", 2020. – P. 23–32.
3. CoderLessons.com [Electronic resource]. – Access mode: <https://coderlessons.com/articles/veb-razrabotka-articles/uselzovanie-createjs-easeljs>. – Access date: 02.10.2022.
4. Flanagan, D. JavaScript. Detailed guide / D. Flanagan / trans. from English. – St. Petersburg : Symbol-Plus, 2008. – P. 122–581.
5. Butch, G. Language UML. User guide. / G. Butch, D. Rambo, I. Jacobson. 2nd ed.: tr. from English. Mukhin N. – M. : DMK Press, 2006. – P. 281–300.

Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи.

All authors have equally contributed to the writing of the article.

Сведения об авторах

Виничук О. Н., преподаватель филиала «Минский радиотехнический колледж» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Дравица В. И., к. ф.-м. н, директор Научно-инженерного республиканского унитарного предприятия «Межотраслевой научно-практический центр систем идентификации и электронных деловых операций».

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
Минск, пр. Независимости, 62,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники, филиал
«Минский радиотехнический колледж»
тел. +375-29-341-04-17;
e-mail: memory1703@gmail.com
Виничук Ольга Николаевна

Information about the authors

Vinichuk O. N., Lecturer at the Branch "Minsk Radio Engineering College" of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Dravitsa V. I., Cand. of Sci., Head of the Scientific Engineering Republican Unitary Enterprise «Interbranches Research Development Centre for Identification Systems and e-Business Operations».

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Independence Ave., 62,
Belarusian State University of Informatics
and Radioelectronics, Branch
"Minsk radioengineering college"
tel. +375-29-341-04-17;
e-mail: memory1703@gmail.com
Vinichuk Olga Nikolaevna



<http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-61-69>

Оригинальная статья / Original paper

УДК 616-8-085.84

АНТРОПОМОРФНЫЕ МОДЕЛИ МОЗГА НА ОСНОВЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

В. В. КАБАЧЕК, Н. С. ДАВЫДОВА, М. М. МЕЖЕННАЯ, М. В. ДАВЫДОВ

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

Поступила в редакцию 20 апреля 2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

Аннотация. Статья посвящена созданию метода генерирования антропоморфных моделей мозга на основе изображений магнитно-резонансной томографии (МРТ). Подбор амплитуды магнитного поля для транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) осуществляется за счет моделирования с использованием метода конечных элементов (FEM). FEM-модели графически демонстрируют информацию о распределении магнитного поля и, следовательно, о возникающих нейрофизиологических и поведенческих изменениях, основанных на дозе ТМС, удельном сопротивлении тканей головы и ее анатомии. Таким образом, данные модели являются неотъемлемым инструментом, используемым для проектирования, настройки и программирования устройств ТМС, а также для исследования таких параметров как сила и напряженность магнитного поля. Отличительным аспектом данной работы является качество получаемых моделей головы. При создании вычисляемых FEM-моделей использовался снимок МРТ головы для проведения сегментации в среде FreeSurfer. Далее производились преобразования изображений в среде Matlab. После была создана сборка модели головы в COMSOL Multiphysics и проведено моделирование ТМС. Результатом преобразований является модель головы, выполненная в виде объемной сетки, которая пригодна для проведения моделирования. Полученные данные можно использовать для персонализации метода ТМС в медицине.

Ключевые слова: моделирование, транскраниальная магнитная стимуляция, метод конечных элементов, анатомическая модель, персонализация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Кабачек В. В., Давыдова Н. С., Меженная М. М., Давыдов М. В. Антропоморфные модели мозга на основе изображений магнитно-резонансной томографии. *Цифровая трансформация*. 2022; 28(2): 61-69.

ANTHROPOMORPHIC BRAIN MODELS BASED ON MAGNETIC RESONANCE IMAGING

V. V. KABACHEK, N. S. DAVYDOVA, M. M. MEZHENNAYA, M. V. DAVYDOV

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

Submitted 20 April 2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

Abstract. The article is devoted to the creation of a method for generating anthropomorphic brain models based on magnetic resonance imaging. The selection of the magnetic field amplitude for transcranial magnetic

stimulation (TMS) is carried out through modeling using the finite element method (FEM). These FEM models graphically demonstrate information on the distribution of the magnetic field and, therefore, on the occurring neurophysiological and behavioral changes based on the dose of the TMS, the specific resistance of the head tissue and its anatomy. Thus, these models are an integral tool used to design, configure, and program TMS devices, as well as to study parameters such as magnetic field strength and tension. A distinctive aspect of this work is the quality of the resulting head models. When creating the calculated FEM models, an MRI image of the head was used to perform segmentation in the FreeSurfer environment. Next, the image was converted in the Matlab environment. After the assembly of the head model in COMSOL Multiphysics, the TMS was simulated. The results of the transformations is a head model made in the form of a three-dimensional grid, which is suitable for modeling. The obtained data can be used to personalize the TMS method in medicine.

Keywords: modeling, transcranial magnetic stimulation, finite elements method, anatomical model, personalization.

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

For citation. Kabachek V. V., Davydova N. S., Mezhenaya M. M., Davydov M. V. Anthropomorphic Brain Models Based on Magnetic Resonance Imaging. *Digital Transformation*. 2022; 28(2): 61-69.

Введение

Транскраниальная магнитная стимуляция (ТМС) представляет собой современный, наименее травматичный и легкий в использовании метод нейростимуляции, основанный на электромагнитной индукции электрического поля в заданном участке головного мозга [1]. За последние десятилетия интерес к ТМС возрос, поскольку этот метод является неинвазивным и может использоваться для многочисленных терапевтических и исследовательских целей [2–6]. Учитывая разнообразие положений магнитного индуктора над головой, ТМС дает широкий спектр возможных применений, включая лечение психических и неврологических расстройств, таких как депрессия, болезнь Паркинсона, эпилепсия, шизофрения, а также улучшает работу двигательной и познавательной деятельности [1,7–14]. ТМС стала некоторым «преемником» транскраниальной электростимуляции головного мозга (ТЭС), которая была разработана в 1980 г. [15]. ТЭС позволяет регистрировать потенциалы (двигательные реакции периферических мышц) в ответ на стимулирование двигательных зон коры через интактные ткани скальпа, что позволяет оценить функциональную целостность кортикоспинального пути на всем его протяжении [16]. Однако, данная процедура является болезненной и, как следствие, ограничивает возможность ее использования в клинической практике. В поисках менее травматичных методов нейростимуляции исследователи разработали в 80-х годах прошлого века новый метод – ТМС [17].

С тех пор было проведено множество исследований нового метода, были предложены новые методики проведения ТМС, а также разработана новая аппаратура [18]. В 1996 году Национальный Институт Здоровья США впервые разработал клинические рекомендации по применению ТМС, которые позже, в 1999 г., были адаптированы Международной Федерацией Клинической Нейрофизиологии [19]. В 2008 г. рекомендации Национального Института Здоровья США были обновлены и в данный момент являются наиболее полным и актуальным руководством по безопасности и клиническим аспектам применения ТМС [20]. ТМС основана на явлении электромагнитной индукции и взаимодействии между магнитным и электрическим полем. Магнитный индуктор располагают над конкретным участком головного мозга, в котором генерируют огромные токи. Такая сила достигается за счет быстрого разряда конденсатора, установленного в аппарате ТМС [21]. Сила тока генерирует магнитное поле, перпендикулярное по направлению тока в катушке, интенсивностью в 1,5-2 Тесла и длительностью в 100 мс. Под воздействием индукционного электрического поля происходят деполяризация мембран корковых нейронов с возникновением двигательных реакций периферических мышц и распространение возбуждения в стимулируемых участках коры головного мозга [22].

Таким образом, ТЭС и ТМС вызывают деполяризацию или гиперполяризацию нейронов путем генерации электрического поля, однако механизмы индуцирования электрических токов различаются. ТМС в отличие от ТЭС активизирует болевые рецепторы в тканях скальпа

значительно меньше, что позволяет применять данный метод нейростимуляции на бодрствующем пациенте. Также с помощью ТМС можно исследовать не моторные зоны коры головного мозга [23]. Характеристика электромагнитного поля при ТМС зависит от характеристик магнитного индуктора (электромагнитной катушки), его расположения относительно головы пациента и от параметров стимуляции. Наиболее распространенными формами магнитного индуктора являются индукторы в виде круга, восьмерки (бабочка) и в форме буквы Н.

С помощью восьмиобразного индуктора осуществляют локальную стимуляцию близких к поверхности скальпа образований мозга: таких как мозжечок, кора полушарий большого мозга. Для стимуляции обширных участков головного мозга используют круглый индуктор. Н-образная катушка позволяет осуществлять стимуляцию глубинных структур мозга (гиппокамп, ствол мозга) [24, 25]. Измерение тока, индуцированного в тканях мозга, является сложным исследованием. Оценка распределения электрического поля в объеме головы и мозга человека требует обширных вычислительных расчетов. Диапазон ранее реализованных моделей разнообразен – от упрощенных геометрических моделей головы в виде концентрических сфер до сложных многослойных сеток с учетом анизотропии и неоднородности тканей [26–31]. Последние исследования основываются на изображениях МРТ для генерации моделей головы человека.

В данной статье представлены результаты компьютерного моделирования, полученные при симулировании процедуры ТМС с использованием методики построения гетерогенной модели головного мозга с помощью необработанных изображений МРТ. Модель головы включает в себя точное представление основных внутренних структур белого и серого вещества головного мозга, сгенерированных из набора изображений МРТ. Данные модели имеют высокое качество детализации тканей, соблюдены значения проводимости для всех тканей. Основными задачами данного исследования были: а) создание методики генерации высококачественных моделей; б) расчет распределения электрического поля в тканях при ТМС.

Методика создания анатомических трехмерных моделей мозга человека

Для создания реалистичной модели головы требовались реальные изображения МРТ человека. В открытом доступе найти МРТ-снимки достаточно проблематично в связи с тем, что они содержат в себе множество информации о человеке, на основе снимков МРТ которого они и были получены. В данном исследовании были использованы анонимизированные изображения из открытой базы данных OASIS (The Open Access Series of Imaging Studies [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.oasis-brains.org>). Этот проект предназначен для предоставления свободного доступа к наборам изображений МРТ для научного сообщества. Здесь собраны различные изображения людей разного возраста и психического состояния.

Для данной работы были выбраны снимки молодого человека, который не имеет никаких отклонений. После получения изображений требовалось провести сегментацию мозга на его отдельные части, для этого был использовано ПО FreeSurfer (версия 6.0). FreeSurfer – это программный пакет для анализа визуализации структурных и функциональных данных нейровизуализации, полученных в результате поперечных или продольных исследований. Он разработан в центре биомедицинской визуализации им. Атиноулы А. Мартинос (Athinoula A. Martinos Center for Biomedical Imaging). Кроме работы в командной строке поддерживается графический интерфейс для отображения полученных результатов сегментации. Результат работы программы отражен на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что мозг человека был разделен на две части: белое и серое вещество. В правом нижнем углу отображена полученная 3D-модель. Экспортируем полученные результаты в формате .asc для последующего преобразования.

Далее сегменты мозга нужно сконвертировать в формат для дальнейшей обработки в среде MatLab. Для конвертации полученных файлов и генерации FEM-модели был использован набор инструментов iso2mesh – генератор сеток из трехмерных бинарных и серых объемных изображений. Это программное обеспечение с открытым исходным кодом, разработанное доцентом кафедры биоинженерии в Северно-восточном университете (Northeastern University) Чиенчин Фэнгом (Qianqian Fang). Данное программное обеспечение

позволяет нам контролировать плотность сетки в отдельных частях и регионах модели. Для предотвращения пересечения между соседними поверхностями и устранения дефектов объема все поверхности были преобразованы в двоичные изображения, которые были подвергнуты дополнительной коррекции. В результате была получена объемная сетка мозга человека, которая включала в себя серое и белое вещество.

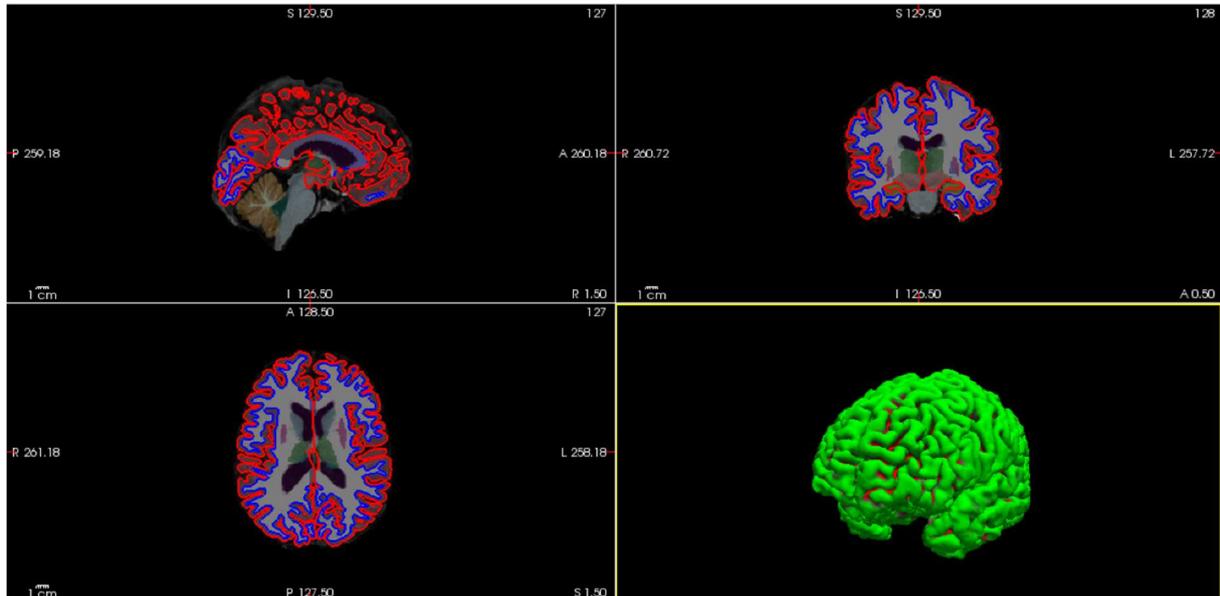


Рис. 1. Графический интерфейс ПО FreeSurfer
Fig. 1. GUI FreeSurfer

На рис. 2 и 3 представлено распределение качества тетраэдров полученных сеток сегментов мозга человека. Антропоморфная модель мозга представляет собой совокупность областей (табл. 1), характеризующихся электропроводностью (σ), относительной магнитной проницаемостью (μ). Усредненный параметр качества элементов полученной сетки должен быть больше 0,5 – только в этом случае данный параметр будет удовлетворительным и модель окажется пригодна для проведения дальнейших исследований.

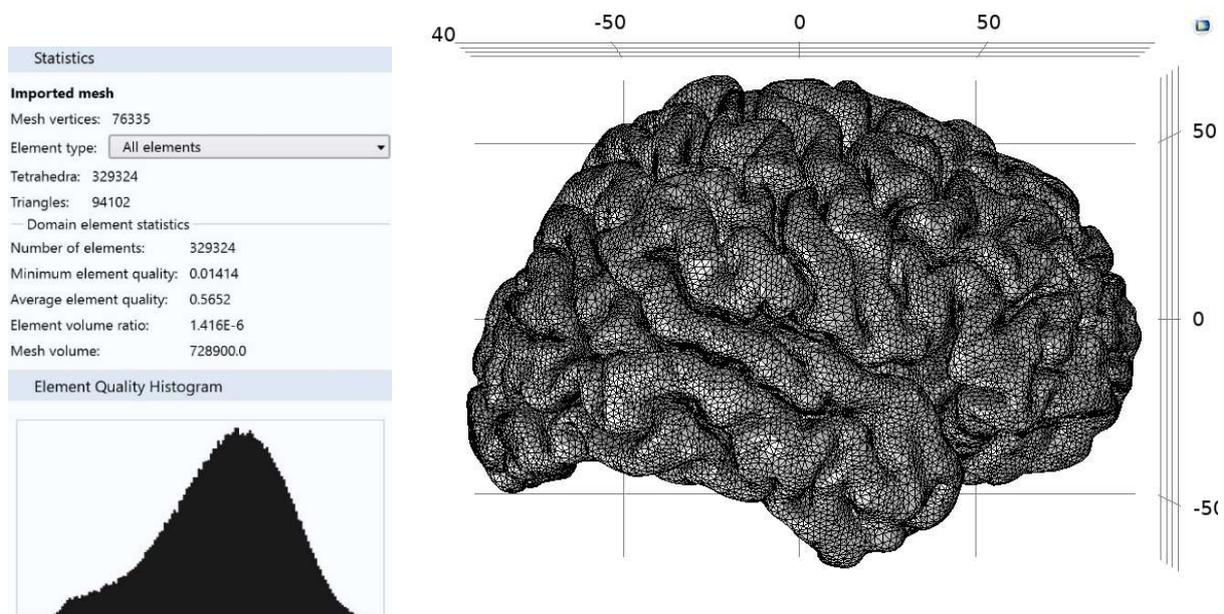


Рис. 2. Гистограмма качества и полученная сетка левой полусферы серого вещества
Fig. 2. Quality histogram and the resulting grid of the left hemisphere of gray matter

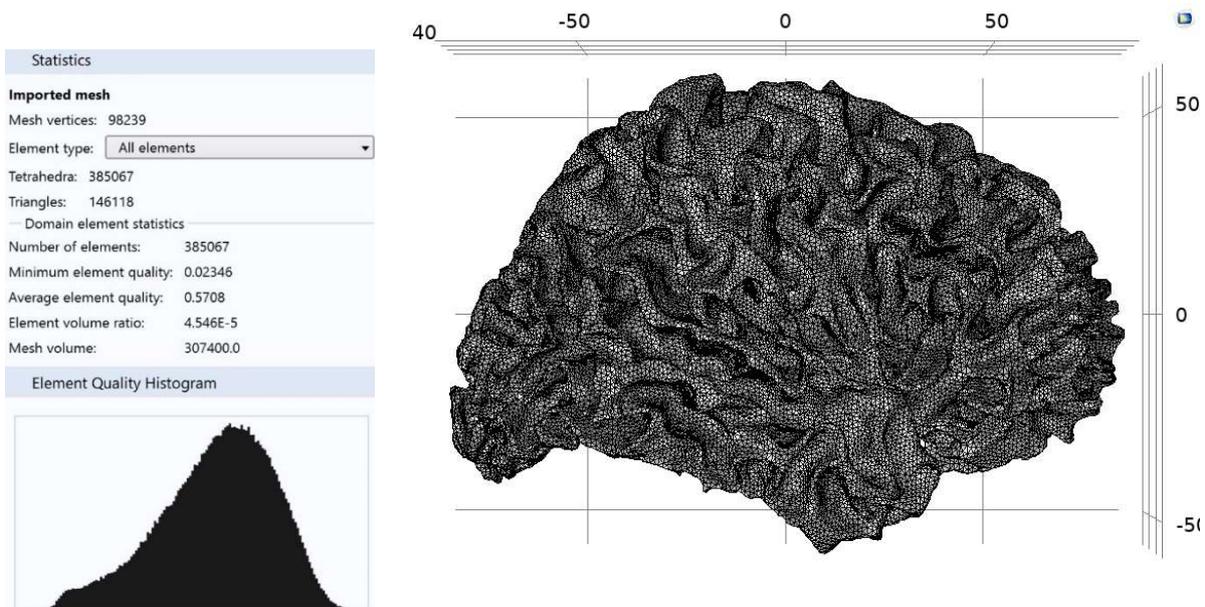


Рис. 3. Гистограмма качества и полученная сетка левой полусферы белого вещества
Fig. 3. Quality histogram and the resulting grid of the left hemisphere of white matter

Для моделирования ТМС требуется создать модель магнитного индуктора (катушки), которая будет являться источником магнитного поля. Для этого был использован SolidWorks – программный комплекс САПР для моделирования и 3D-проектирования. В ходе применения данного ПО был разработан магнитный индуктор в виде круга. Режим воздействия выбирался исходя из параметров современных магнитотерапевтических аппаратов, используемых для магнитостимуляции мозга – индукция магнитного поля достигает значений 2 Тл, для максимальной стимуляции сила тока достигает 3–4 кА (увеличивается пропорционально количеству витков). При моделировании частота тока в индукторе задавалась равной 4 кГц, т.к. импульсы, которые подает аппарат магнитостимуляции, составляют 250 мкс. В табл. 1 представлены характеристики сегментов моделей, используемых при моделировании.

Таблица 1. Характеристика сегментов модели
Table 1. Characterization of model segments

Область	Электропроводность (σ)	Относительная магнитная проницаемость (μ)
Серое вещество	0,276	1
Белое вещество	0,126	1

В табл. 2 представлены геометрические размеры индуктора и параметры токов, используемых при моделировании.

Таблица 2. Параметры индуктора
Table 2. Inductor parameters

Тип индуктора	Диаметр внешний, см	Диаметр внутренний, см	Высота кольца, см	Суммарная сила тока I_{ext} , кА	Частота тока I_{ext} , кГц
«Кольцевой большой»	15	5	1	50	4

Когда все элементы системы готовы и сгенерирована объемная сетка мозга, можно переходить к моделированию ТМС в среде COMSOL Multiphysics – это универсальная среда численного моделирования систем, устройств и процессов во всех областях проектирования, производства и научных исследований. Данное ПО поставляется в базовом виде и может использоваться отдельно или в любой комбинации с дополняющими его функционал модулями расширения для моделирования. Для решения поставленных задач потребуется дополнительный модуль – Magnetic and Electric Fields. Общий вид полученной модели представлен на рис. 4.

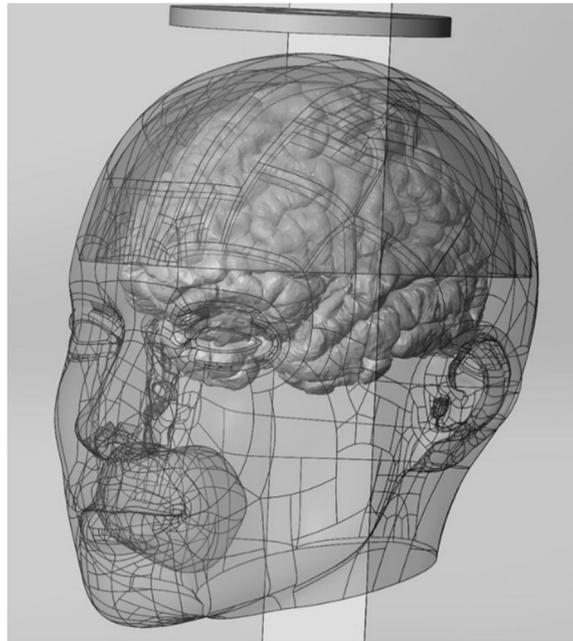


Рис. 4. Общий вид модели
Fig. 4. General view of the model

Результаты

В ходе исследования были рассчитаны следующие параметры электрических и магнитных полей: индукция магнитного поля (рис. 5, *c*; 6, *c*), плотность тока (рис. 5, *a*; 5, *b*; 5, *d*; 6, *a*; 6, *b*; 6 *d*).

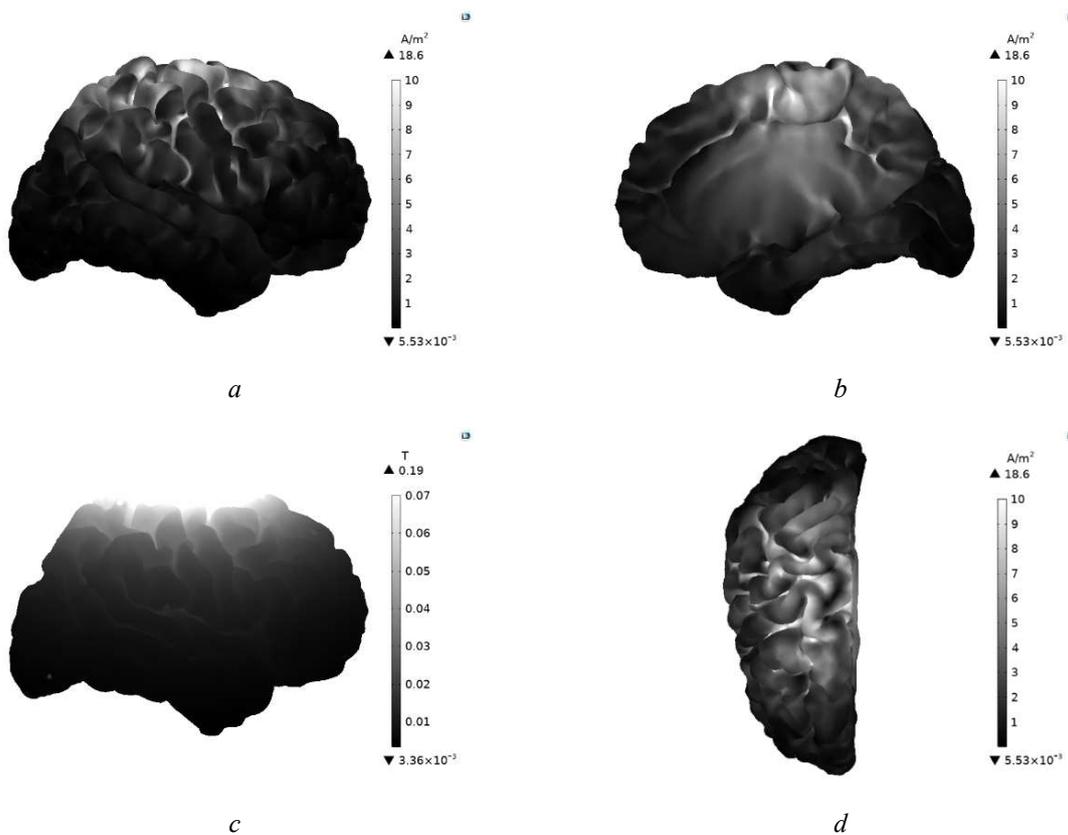


Рис. 5. Полученные данные в ходе исследований серого вещества: *a* – плотность тока (вид слева), *b* – плотность тока (вид справа), *c* – индукция магнитного поля (вид слева), *d* – плотность тока (вид сверху)
Fig. 5. Data obtained during the studies of gray matter: *a* – current density (left view), *b* – current density (right view), *c* – magnetic field induction (left view), *d* – current density (top view)

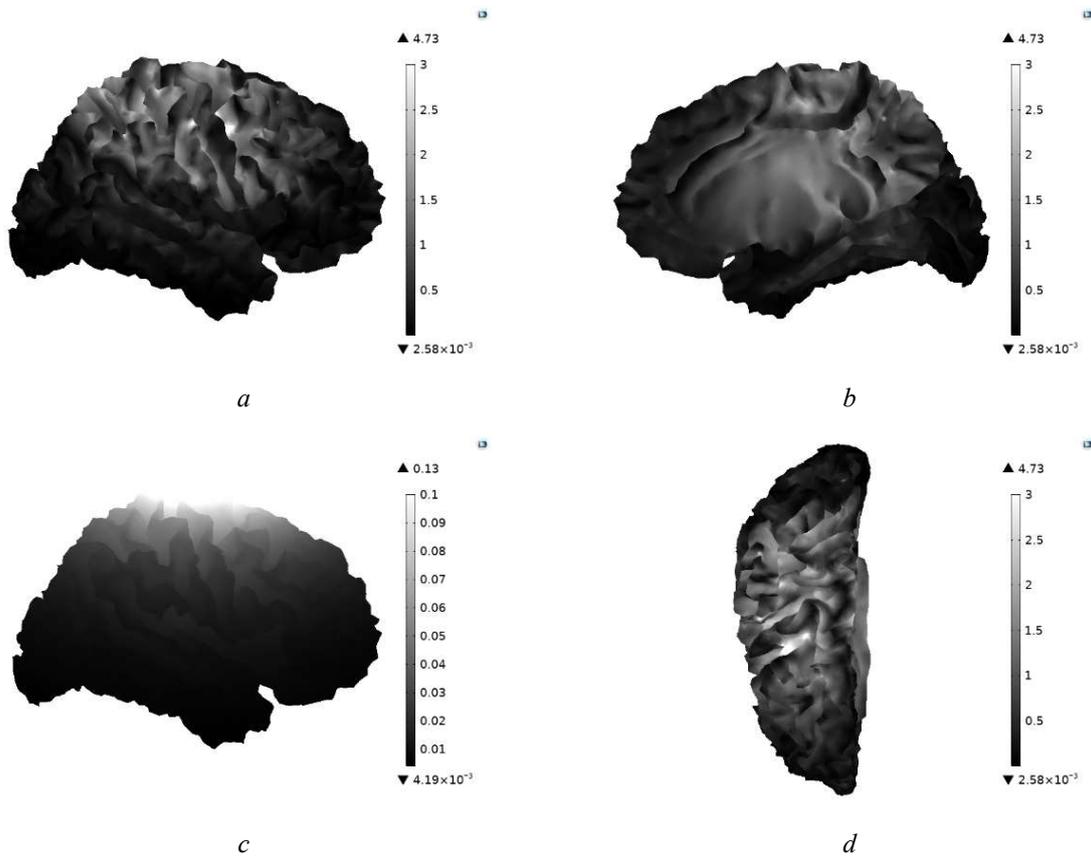


Рис. 6. полученные данные в ходе исследований белого вещества: *a* – плотность тока (вид слева), *b* – плотность тока (вид справа), *c* – индукция магнитного поля (вид слева), *d* – плотность тока (вид сверху)
Fig. 6. Data obtained during studies of white matter: *a* – current density (left view), *b* – current density (right view), *c* – magnetic field induction (left view), *d* – current density (top view)

В табл. 3 представлены предельные значения распределения плотности тока и магнитной индукции, полученные в ходе моделирования ТМС с использованием ранее полученной модели.

Таблица 3. Результаты моделирования
Table 3. Simulation results

Тип индуктора	Плотность индуцированного тока, A/m^2		Магнитная индукция
	в сером веществе	в белом веществе	В объеме головы
«Кольцевой»	18,6	4,73	0,19

Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что при использовании магнитного индуктора заданного размера наибольшая плотность тока достигается в сером веществе, так как его электропроводность выше, чем у белого вещества.

Выводы

Основными задачами данного исследования были: а) создание методики генерации высококачественных моделей головных структур; б) расчет распределения электрического поля в тканях при ТМС. Была построена антропоморфная модель человеческого мозга и проведен расчет в среде COMSOL Multiphysics. В результате моделирования визуализированы модели и получены численные характеристики электрического и магнитного полей, создаваемых магнитным индуктором наиболее распространенного размера. Наибольших результатов плотности тока и магнитной индукции удалось добиться в объеме серого вещества. Создана методика получения антропоморфных моделей головного мозга, которые могут быть использованы для персонализированного подбора дозы ТМС.

Список литературы / References

1. Allen, C. H. Safety of transcranial magnetic stimulation in children: A systematic review of the literature / C.H. Allen, B.M. Kluger, I. Buard // *Pediatr Neurol*, 2017. – Vol. 68. – P. 3–17.
2. Kirkcaldie, M. T. Transcranial magnetic stimulation as therapy for depression and other disorders / M. T. Kirkcaldie, S. A. Pridmore, A. Pascual-Leone // *Aust NZJ Psychiatry*, 1997. – Vol. 31. P. 264–272.
3. McNamara B. Transcranial magnetic stimulation for depression and other psychiatric disorders / B. McNamara, J. L. Ray, O. J. Arthurs, S. Boniface // *Psychol Med*, 2001. – Vol. 31. – P. 1141–1146.
4. Wassermann, E. M. Therapeutic application of repetitive transcranial magnetic stimulation: a review / E.M. Wassermann, S.H. Lisanby // *Clin Neurophysiol*, 2001. – Vol. 112. P. 1367–1377.
5. Meyer, B.U. Introduction to diagnostic strategies of magnetic stimulation. In: A. Pascual-Leone, N. Davey, J. Rothwell, E. Wasserman // *Handbook of transcranial magnetic stimulation*. – London: Arnold, 2002. – P. 177–84.
6. Walsh, V. A primer of magnetic stimulation as a tool for neuropsychology / V. Walsh, M. Rushworth // *Neuropsychologia*, 1999. – Vol. 37. – P. 125–35.
7. Brunoni, A. R. [et al.]. Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): Challenges and future directions // *Brain Stimulation*, Jul. 2012. – Vol. 5. – No. 3. – P. 175–195.
8. Kuo, M.-F. Boosting focally-induced brain plasticity by dopamine / M.-F. Kuo, W. Paulus, M. A. Nitsche // *Cereb. Cortex*, Mar. 2008. – Vol. 18. – No. 3. – P. 648–651.
9. Beam, W. An efficient and accurate new method for locating the F3 position for prefrontal TMS applications. / W. Beam [et al.]. // *Brain Stimul.*, Jan. 2009. – Vol. 2. – No. 1. – P. 50–54.
10. Rusjan, P. M. Optimal transcranial magnetic stimulation coil placement for targeting the dorsolateral prefrontal cortex using novel magnetic resonance image-guided neuronavigation. / P. M. Rusjan [et al.]. – *Hum Brain Mapp*, Nov. 2010. – Vol. 31. No. 11. – P. 1643–1652.
11. Lefaucheur, J. P. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). / J. P. Lefaucheur [et al.] // *Clinical Neurophysiology*. – Vol. 125 (11). – P. 2150–2206.
12. Fang, J. Repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of amyotrophic lateral sclerosis or motor neuron disease / J. Fang [et al.]. // *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, May 2013. – Vol. 5.
13. Pereira L. S. Safety of repetitive transcranial magnetic stimulation in patients with epilepsy: A systematic review / L. S. Pereira, Apr. 2016. – *Epilepsy & Behavior*. 57 (Pt A) – P. 167–176.
14. Machado, S. Therapeutic applications of repetitive transcranial magnetic stimulation in clinical neurorehabilitation / S. Machado // *Functional Neurology*. – 2008. – Vol. 23 (3). P. 113–122.
15. Merton, P. A. Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject / P. A. Merton, H. B. Morton // *Nature*, 1980. – P. 285–287.
16. Epstein, N. E. The need to add motor evoked potential monitoring to somatosensory and electromyographic monitoring in cervical spine surgery. – *Surg Neurol Int.*, 2013. – Vol. 4(Suppl 5). – P. S383–S391.
17. Barker, A. T. Noninvasive magnetic stimulation of human motor cortex / A. T. Barker, R. Jalinous, I. L. Freeston – *Lancet*, 1985. – P. 1106–1107.
18. Bickford, R. G. Magnetic stimulation of human peripheral nerve and brain: response enhancement by combined magneto-electrical technique. / R. G. Bickford [et al.]. // *Neurosurgery*. – 1987. – Vol. 20. – No. 1. – P. 110–116.
19. Hallett, M. Repetitive transcranial magnetic stimulation. Recommendations for the practice of clinical neurophysiology: guidelines of the international federation of clinical neurophysiology / M. Hallett [et al.]. // *Electroencephalography and clinical neurophysiology*. (2nd ed.). – 1999. – Suppl. 52. – P. 105–113.
20. Rossi, S. The Safety of TMS Consensus Group. Safety, ethical considerations, and application guidelines for the use of transcranial magnetic stimulation in clinical practice and research / S. Rossi, M. Hallett, P.M. Rossini, A. Pascual-Leone // *Clin Neurophysiol*, 2009. – Vol. 120(12). – P. 2008–2039.
21. Walsh, V. *Transcranial Magnetic Stimulation: A Neurochronometrics of Mind* / V. Walsh, A. Pascual-Leone. – Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2003.
22. Eldaief M., Press D., Pascual-Leone A. Transcranial magnetic stimulation in neurology // *Neurology. Clinical Practice*. – Dec. 2013. – P. 519–525.
23. Najib U. Transcranial Brain Stimulation: Clinical Applications and Future Directions / U. Najib // *Neurosurg Clin N Am*, 2011. – Vol. 22(2). – P. 233–258.
24. Huerta, P. Transcranial magnetic stimulation, synaptic plasticity and network oscillations / P. Huerta., T.J. Volpe // *NeuroEngin Rehab*. – 2009. – Vol. 6. – P. 7–11.
25. Zangen, A. Transcranial magnetic stimulation of deep brain regions: evidence for efficacy of the H-coil / A. Zangen // *Clinical Neurophysiology*. – Apr. 2005. – Vol. 116 (4). – P. 775–779.
26. Krasteva, V. Current density distribution in magnetic simulation of the brain / V. Krasteva, S. Papazov // *The First International Scientific Teleconference «New Technology in Medicine»*. – Saint-Petersburg, Russia, 2002.

27. Krasteva, V. Magnetic stimulation for nonhomogeneous biological structures. / V. Krasteva, S. Papazov, I. Daskalov // *BioMed Eng.* – 2002. – №3. – P. 37–39
28. Modeling the E-field induced in TMS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://moodle-arquivo.ciencias.ulisboa.pt/1516/pluginfile.php/131807/mod_resource/content/2/Template_Campo%20elétrico%20em%20estimulação%20magnética.pdf
29. Using Finite Element Modelling to Improve Transcranial Magnetic Stimulation Devices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://cdn.comsol.com/resources/2016-keynotes/munich/Biginton-Using_Finite_Element_Modelling_to_Improve_Transcranial_Magnetic_Stimulation_Devices.pdf
30. From MR Images to Electric Field: Modeling Transcranial Magnetic Stimulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.instructables.com/id/From-MR-Images-to-Electric-Field-Modeling-Transcra/>
31. Magnetic Stimulation of the Human Brain with Low-Intensity Field [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/4c4a/58a96453935d165a489e0669585042f5243f.pdf>

Сведения об авторах

Кабачек В. В., аспирант кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Давыдова Н. С., к. т. н., доцент, доцент кафедры инфокоммуникационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Меженная М. М., к. т. н., доцент, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Давыдов М. В., к. т. н., доцент, первый проректор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Information about the authors

Kabachek V. V., Postgraduate at the Department of Electronic Engineering and Technology of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Davydova N. S., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Infocommunication Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Mezhennaya M. M., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics.

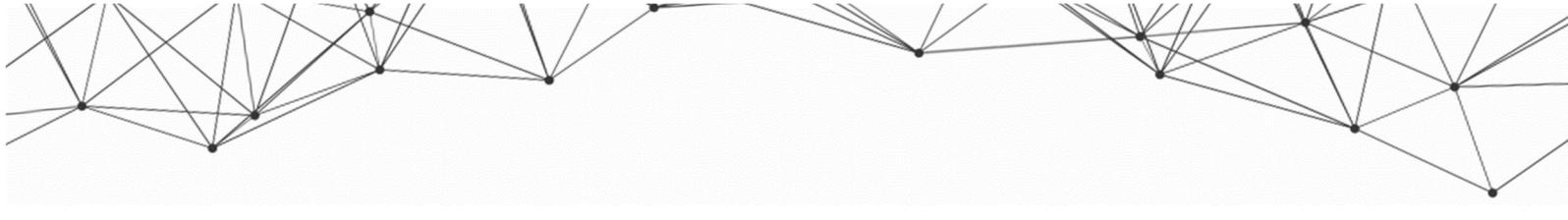
Davydov M. V., Cand. of Sci., Associate Professor, First Vice-Rector of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники,
Тел.: +375-17-293-88-41;
e-mail: zex96@me.com
Кабачек Вячеслав Валерьевич

Address for correspondence

220103, Republic of Belarus,
Minsk, Brovki St, 6,
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375-17-293-88-41;
e-mail: zex96@me.com
Kabachek Vyacheslav Valer'evich



РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ В ЖУРНАЛЕ «ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

«Цифровая трансформация» – рецензируемый научный журнал, посвященный анализу процессов цифровизации экономики и, в частности, системы образования.

Что мы предлагаем?

Размещение рекламы в печатной и электронной версиях журнала.

Включение в список партнеров на сайте журнала.

Скидка 25 % при заключении договора на размещение рекламы на год.

Преимущества размещения рекламы:

- высокий научный статус журнала;
- широкая аудитория IT-специалистов, представителей учреждений образования и органов государственного управления среди авторов статей и подписчиков журнала.

Стоимость

1000 бел. руб. / страница (750 бел. руб. / страница при условии единовременной оплаты рекламы в 4 выпусках журнала).

Периодичность выхода журнала – 1 раз в квартал.

Подписные индексы:

- 75057 – для индивидуальной подписки;
- 750572 – для ведомственной подписки.

Контакты

Шичко Людмила Александровна, заместитель начальника научно-исследовательской части учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

тел.: +375 17 293 84 45
dig.tr@bsuir.by

