

## **Уважаемые читатели и авторы!**

Редакция журнала открыта для сотрудничества и приглашает к публикации ученых, 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 № 662), перерегистрирован 10.06.2022 (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](http://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](mailto:dig.tr@bsuir.by).

Получение бумажной версии журнала «Цифровая трансформация» доступно через оформление подписки на квартал, полугодие или год по следующим индексам: 75057 – для индивидуальных подписчиков, 750572 – для ведомственных.

*Редакция журнала «Цифровая трансформация»*

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Научный журнал издается с 1995 г. Выходит ежеквартально.

Ранее издание выходило под названием «Информатизация образования».

В 2017 г. журнал перерегистрирован под названием

«Цифровая трансформация», ISSN 2522-9613.

## Главный редактор

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

## Редакционный совет

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

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

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

**Борботько Т. В.**, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск, Республика Беларусь).

**Листопад Н. И.**, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск, Республика Беларусь).

**Бондарь А. В.**, д. э. н., профессор, заведующий кафедрой экономической политики Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Республика Беларусь).

**Миксюк С. Ф.**, д. э. н., профессор кафедры прикладной математики и экономической кибернетики Белорусского государственного экономического университета (г. Минск, Республика Беларусь).

**Читая Г. О.**, д. э. н., заведующий кафедрой прикладной математики и экономической кибернетики Белорусского государственного экономического университета (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 имени 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 имени М. В. Келдыша Российской академии наук» (г. Москва, Российская Федерация).

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

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

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

Ответственный секретарь редакции: Т. В. Мироненко

---

Подписано в печать 16.01.2023. Формат 60×84 1/8. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 7,8. Тираж 80 экз. Заказ 8.

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 от 27.06.2017 № 662.

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, Republic of 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, Republic of 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, Russian Federation.

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

Responsible secretary of the editorial office: T. V. Mironenka

---

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

Signed for printing 16.01.2023. Format 60×84 1/8. Office paper. Printed on a risograph.

Ed.-pr. l. 9,53. Ed.-ed. l. 7,8. Circulation 80 copies. Order 8.

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 No 02330/264 dated December 24, 2020).

© Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”, 2022

# ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ *DIGITAL TRANSFORMATION*

## СОДЕРЖАНИЕ

*ИНФОРМАТИКА, КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНИКА, ОБРАЗОВАНИЕ, ЭКОНОМИКА*

*Экономические науки, образование*

<b>Гайсенюк В. А., Максимов С. И., Клишевич Н. С., Брезгунова И. В.</b> Условия эффективного применения и развития дистанционных образовательных технологий в высшей школе и дополнительном образовании взрослых.....	5
<b>Чернявский А. Ф., Козлова Е. И.</b> Варианты усиления ансамбля гипотез в условиях неопределенностей формирования целевой обучающей функции.....	12
<b>Мясникова О. В.</b> Программа цифровой трансформации производственно-логистических систем: методические аспекты разработки.....	18
<b>Ефремов А. А., Геращенко К. С., Салапура М. Н.</b> Технология блокчейн в рекламных кампаниях .....	28
<b>Костюкова Е. Н.</b> Инвестиции в майнинг криптовалюты на примере биткоина.....	36
<b>Vlasenko A. A., Goloventchik G. G.</b> E-Commerce of China: its Reasons for Success and Current Development Trends.....	43
<b>Петухов А. В.</b> Цифровая трансформация курсового проектирования в условиях пандемии ..	53

*Технические науки*

<b>Буневич М. А., Майоров А. И., Врублевский И. А.</b> Применение SDR-приемопередатчиков в системах для поиска закладных радиоустройств .....	62
<b>Петров Д. О.</b> Интерактивная визуализация алгоритмов трассировки печатных проводников в учебном процессе.....	72

## CONTENTS

*INFORMATICS, COMPUTER EQUIPMENT, EDUCATION, ECONOMICS*

*Economic Sciences, Education*

<b>Gaisenok V. A., Maximov S. I., Klishevich N. S., Brezgunova I. V.</b> Conditions for the Effective Use and Development of Distance Learning Technologies in Higher Education and Further Education of Adults.....	5
<b>Chernyavsky A. F., Kazlova A. I.</b> Options for Strengthening the Ensemble of Hypotheses under Uncertainty of the Objective Learning Function Formation.....	12
<b>Miasnikova O. V.</b> Digital Transformation Program of Production and Logistics Systems: Methodological Aspects of Creating .....	18
<b>Efremov A. A., Gerashchenko K. S., Salapura M. N.</b> Blockchain Technology in Advertising Campaigns.....	28
<b>Kostukova H. N.</b> Investing in Cryptocurrency Mining on the Example of Bitcoin .....	36
<b>Vlasenko A. A., Goloventchik G. G.</b> E-Commerce of China: its Reasons for Success and Current Development Trends.....	43
<b>Petukhov A. V.</b> Digital Transformation of a Course Design in the Context of Pandemic .....	53

*Technical Sciences*

<b>Bunovich M. A., Mayorov A. I., Vrublevsky I. A.</b> The Use of SDR Transceivers in Systems for Searching Covert Radiodevices .....	62
<b>Petrov D. O.</b> Interactive Visualization of the Printed Circuits Tracing Algorithms for Educational Purposes .....	72



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-5-11>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 378.147:004.9

## УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ ВЗРОСЛЫХ

В. А. ГАЙСЕНОК, С. И. МАКСИМОВ, Н. С. КЛИШЕВИЧ, И. В. БРЕЗГУНОВА

*Республиканский институт высшей школы (г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 25.11.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Раскрыты аспекты успешного применения дистанционных образовательных технологий. Для их эффективного использования современный учебный материал должен обладать методическим, педагогическим и технологическим авторством. При неправильном применении широкие возможности дистанционных технологий могут быть причиной недостатков, снижающих эффективность образовательных систем и мотивацию к их использованию.

**Ключевые слова:** дистанционная образовательная технология, цифровая платформа, информационно-коммуникационная технология, высшая школа, дополнительное образование взрослых, технологическое авторство.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Гайсенок В. А., Максимов С. И., Клишевич Н. С., Брезгунова И. В. Условия эффективного применения и развития дистанционных образовательных технологий в высшей школе и дополнительном образовании взрослых. *Цифровая трансформация.* 2022; 28 (4): 5–11.

## CONDITIONS FOR THE EFFECTIVE USE AND DEVELOPMENT OF DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES IN HIGHER EDUCATION AND FURTHER EDUCATION OF ADULTS

VICTOR A. GAISENOK, SERGUEY I. MAXIMOV, NATALLIA S. KLISHEVICH,  
INESSA V. BREZGUNOVA

*National Institute for Higher Education (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 25.11.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** Aspects of successful application of distance learning technologies are introduced. It is stated that for their effectiveness, modern educational material must have methodical, pedagogical and technological authorship. When misused, the wide range of remote technologies can cause deficiencies that reduce the effectiveness of educational systems and reduce the motivation for their use.

**Keywords:** distance education technology, digital platform, information and communication technology, higher school, additional adult education, technological authorship.

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

**For citation.** Gaisenok V. A., Maximov S. I., Klishevich N. S., Brezgunova I. V. Conditions for the Effective Use and Development of Distance Learning Technologies in Higher Education and Further Education of Adults. *Digital Transformation.* 2022; 28 (4): 5–11.

## Введение

Цифровизация, основанная на массовом внедрении компьютерных и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), сделала возможным широкомасштабное внедрение дистанционных образовательных технологий (ДОТ), представляющих собой «конгломерат» педагогических и информационных технологий, которые с той или иной мерой эффективности применяются сегодня во всех формах высшего образования и дополнительного образования взрослых. При этом условия эффективного использования ДОТ в академическом и последипломном образовании остаются дискуссионными. Основной вопрос – качество «цифровизированного» с широкомасштабным использованием ДОТ образования. В этом русле, как правило, предметно обсуждаются частные проблемы, например, качество организационно-технического, методолого-педагогического и кадрового (компетентности/компетенции) обеспечения образовательного процесса с ДОТ. При рассуждении можно прийти к выводу, что ни одна из придуманных и используемых человечеством технологий сама по себе не является ни плохой, ни хорошей. Плохое или хорошее, эффективное или неэффективное – это их применение, причем степень эффективности/неэффективности определяется профессиональной компетентностью, уровнем образования и культуры пользователей, их пониманием концепции и предназначения технологии. Все это справедливо и в отношении ДОТ.

При анализе эффективности и качества образования с применением ДОТ следует помнить, что данные технологии изначально концептуально ориентированы на *удаленное обучение*<sup>1</sup>, в котором взаимодействие участников образовательного процесса – преподавателей и студентов – осуществляется опосредованно, через компьютерные сети при помощи различного вида коммуникаторов (гаджетов) – компьютеров, планшетов, смартфонов и т. п. Технологически заранее на уровне информационных технологий предопределено, что коммуникации в ДОТ могут осуществляться в *асинхронном* или *синхронном режиме*. В первом случае реагирование участников на учебные события (вопросы, задания и т. п.) оказывается отложенным во времени, а во втором – обеспечивается возможность немедленного (в реальном времени) реагирования. Сегодня в асинхронном режиме коммуникаций обычно выполняются учебные задания, а наиболее ярким примером использования в учебном процессе синхронного режима является вебинар.

## Особенности удаленного обучения

Дистанционные образовательные технологии делают обучение более опосредованным, многие параллельные и синхронные процессы классического обучения оказываются в них последовательными и асинхронными, это зачастую усложняет и удлиняет образовательный процесс; многое из того, что сразу видно в очной аудитории, становится «невидимым» удаленному преподавателю и т. п. В таких условиях возникают риски образовательных конфликтов «не(до)понимания»<sup>2</sup>, утрачиваются важные невербальные составляющие обучения и воспитания, человеку технологически навязывается шаблонное мышление, «машинное» восприятие информации. Поэтому вопрос о человеческом измерении эффективности ДОТ и стратегии их развития в образовании остается открытым. При этом следует отдавать себе отчет в том, что на современном уровне технологического развития общества расширение применения ДОТ экономически оправдано – повсеместно наблюдается устойчивый рост спроса на получение образования без отрыва от производства (заочно) и прогнозируется, что данная тенденция будет долгосрочной. ДОТ в современных технологических формах реализации заочного образования – дистанционном и онлайн – наиболее эффективны, обеспечивают удаленные индивидуально-адресные, скоростные и информационно насыщенные коммуникации с большим географическим охватом. Удобство «производства», надежность хранения, высокая скорость передачи учебного контента, возможность персонификации и полного контроля образовательного процесса с ИКТ являются ключевыми мотивами применения ДОТ на всех уровнях образования.

<sup>1</sup> Одна из первых в мире программно-технических платформ ДОТ – система управления обучением LMS Moodle – разработана австралийцем Марком Дугиамасом [1] именно с такой целью.

<sup>2</sup> Конфликт не(до)понимания – ситуация, в которой обучаемый не может своевременно получить ответ учителя на возникший в ходе изучения учебной темы (предмета) вопрос. Результат – невозможность эффективного изучения последующего учебного материала.

Организационно-технические достоинства ДОТ определяются цифровыми технологиями хранения больших объемов информации и ее быстрого транслирования по протоколам интернета, возможностью структурирования и масштабирования систем дистанционного обучения на локальных и глобальных цифровых платформах, оперативностью многоуровневого контроля событий, связанных с доступом к учебной информации, возможностью интеграции локальных систем дистанционного обучения с уже имеющимися и/или разрабатываемыми автоматизированными системами управления учебных заведений и т. п. Следует, однако, заметить, что указанные широкие возможности ДОТ могут при неправильном их использовании стать причиной снижения эффективности образовательных систем на их основе. В частности, административная «заорганизованность» систем дистанционного обучения, например, излишне жесткая регламентация и тотальный контроль всех параметров «цифрового» учебного процесса с применением ДОТ, их перегрузка формами для заполнения данными для «внешних» автоматизированных систем управления, могут «утяжелять» обучающие системы с применением ДОТ, снижать мотивацию к пользованию ими.

### **Управленческие проблемы эффективности дистанционных технологий**

Главная «управленческая» проблема эффективности ДОТ связана именно с возможностью в цифровом мире контролировать все, что связано с учебным процессом. Как правило, необходимость административно-управленческой составляющей организации образовательного процесса с массовым применением ДОТ оправдывается необходимостью (оперативного) контроля качества образовательного процесса, а также действующими нормативами. При этом следует заметить, что во многих случаях контролируется отнюдь не качество, а количественные показатели учебных мероприятий – их количество, численность обучающихся, план и выполнение нагрузки преподавателями и т. п., причем нормативной итоговой формой контроля качества обучения по-прежнему остается оценивание профессиональных компетенций обучаемых в период зачетно-экзаменационных сессий. Такой подход к административному контролю является следствием того, что нормативы дистанционного образования и онлайн-образования (ДО/ОО) с применением ДОТ и требования к составу соответствующих электронных образовательных ресурсов и электронных учебно-методических комплексов (ЭОР/ЭУМК) до сих пор разрабатываются по шаблонам организационно-учебной документации «доэлектронной» эры. Крайняя форма административного управления – разработка различного рода нормативов состава и вида ЭОР/ЭУМК вне зависимости от их назначения и уровня. Поскольку, как уже было отмечено выше, конструирование интерактивных ЭОР/ЭУМК, предназначенных для эффективной «замены» чаще всего «невидимого» удаленного преподавателя, – сложная творческая задача сродни написанию сценария и режиссуре (учебного) фильма, результат такой нормотворческой деятельности обычно весьма формален. Такого рода формальный документ определяет (как правило, вне зависимости от изучаемого предмета) либо жесткую привязку ЭОР/ЭУМК к конкретному типу/составу программного обеспечения ДОТ, либо их состав. В результате он оказывается мало полезен для преподавателей-разработчиков конкретных предметных ЭОР/ЭУМК.

### **Методическое, педагогическое и технологическое авторство учебного материала**

Что касается педагогических технологий ДОТ, следует помнить, что концептуально они основаны на *педагогическом конструктивизме*. Одним из постулатов последнего, как известно, являются возможность четкого структурирования любого предметного знания в форме учебных блоков и модулей и выстраивание их в определенные логические цепочки. На самом же деле знания во многих случаях представлены нечеткими множествами, что означает возможность их альтернативного представления/интерпретации. Поэтому при организации и контроле обучения на основе ДОТ это необходимо учитывать [2].

Учебный (предметный) контент – ЭОР и ЭУМК – педагогическая основа обучения с применением ДОТ. Современные информационно-коммуникационные технологии предоставляют широкие возможности разработчику/составителю ЭОР/ЭУМК. В первую очередь здесь следует упомянуть *гипертекст*. Адресное указание любого информационного объекта ЭОР/ЭУМК в контексте изучаемого – мощный прием ДОТ. Массовое применение адресных перекрестных гиперссылок в ЭОР/ЭУМК многими трактуется как нелинейное представление знаний. В качестве

преимущества такого представления указывается, что «нелинейные» ЭОР/ЭУМК более компактны по сравнению с линейными. По мнению авторов статьи, данная трактовка неверна<sup>3</sup>, и зачастую применение в обучении сложно организованных гипертекстовых ЭОР/ЭУМК приводит к негативным эффектам, в частности, к фрустрации знаний обучаемых, что, в свою очередь, разрушительно для понимания сути изучаемого предмета и его связи с другими предметными областями.

При этом вполне очевидно, что любой цифровой учебный материал является определенной методико-педагогической интерпретацией знаний предметной области. Следовательно, можно говорить о *методическом и педагогическом авторстве*<sup>4</sup>. Методическая составляющая авторства заключается в определенном (автором) структурировании знаний в предметной области, педагогическая – в предлагаемых приемах освоения и закрепления знаний в контексте изучаемого. В отношении собственно предметного контента учебного материала (учебные тексты, рисунки, формулы и т. п.) преподаватель-разработчик чаще всего является просто его компилятором – составителем (конструктором) из «готовых» источников других «авторов». Последние, как правило, тоже оказываются далеко не последними компиляторами контента. В связи с этим важно понимать, что обучение без компиляции невозможно. Компиляция – заимствование, многократное переписывание, повторение известного – одна из ключевых методик обучения; большинство формулировок определений, законов и прочего консервативно. Поэтому к компиляции в образовании (в отличие от науки) следует относиться как к вынужденной необходимости. Претензии на истинное (и то весьма условно) авторство в образовании исключительно редки<sup>5</sup>. При этом указание заимствованных источников в разрабатываемом учебном материале является этической нормой. Для ЭОР/ЭУМК с сетевым доступом в интернет указание на источник облегчается – следует просто установить ссылку на его URL<sup>6</sup>.

Цифровой учебный материал, индивидуально (коллективно) разработанный с применением ИКТ, например ЭОР или ЭУМК, также характеризуется индивидуальным (коллективным) *технологическим авторством*. Технологическое авторство здесь заключается в «персонализированном» выборе состава компьютерных программных продуктов и применяемых с их использованием технологий (приемов, способов) разработки цифрового предметного контента, а также в выборе для его дальнейшего педагогического применения ДОТ.

Итак, современный учебный материал, реализованный с помощью ДОТ, обладает *методическим, педагогическим и технологическим авторством*. Следствием этого является следующее. Разработка цифрового учебного контента и решение широкого круга методических и педагогических задач обучения с использованием все более широкого спектра ДОТ усиливают тенденцию *методико-педагогической и технологической «авторизации»* учебных материалов. В этих условиях стандартизация ЭОР/ЭУМК на всех трех уровнях – методическом, педагогическом и технологическом – становится все более проблематичной. «Заложенный» на методическом, педагогическом и технологическом уровнях (проектирования) индивидуально авторский «сценарий» обучения существенно ограничивает возможность эффективного использования материала другими преподавателями (не авторами) в учебном процессе<sup>7</sup>.

Развитие такой тенденции приводит к «персонификации» ЭОР/ЭУМК: ценностным ресурсом становятся их конкретные разработчики, без участия которых использование их в учебном процессе малоэффективно. Поэтому профессорско-преподавательский состав и учебно-вспомогательный персонал с необходимыми методическими, педагогическими и технологическими компетенциями для разработки и сопровождения ЭОР/ЭУМК в течение жизненного цикла указанных комплексов становятся главным ценностным активом высшего и дополнительного образования взрослых в условиях массового применения ДОТ.

<sup>3</sup> Следует отметить, что педагогическая эффективность нелинейного представления знаний (в отличие от их хранения в цифровом виде на машиночитаемых носителях информации) не доказана.

<sup>4</sup> Вопросы авторства цифрового учебного контента являются дискуссионными и весьма «болезненными» в педагогической среде.

<sup>5</sup> В физике известно лишь несколько «авторских» курсов.

<sup>6</sup> URL (Universal Resource Locator) – универсальный локатор ресурса – адрес ресурса в интернете.

<sup>7</sup> В таких случаях, как правило, требуется определенная методолого-педагогическая переработка ЭОР/ЭУМК что называется под себя.



*Технологическая компетентность* профессорско-преподавательского состава в разработке ЭОР/ЭУМК и учебно-вспомогательного персонала в сфере обеспечения ДОТ – ведущее требование эффективности современных видов образования (дистанционного и онлайн) на основе ДОТ. Спектр современных технологических инструментов информационно-коммуникационных технологий и педагогических технологий весьма широк. Полезную информацию об этом можно почерпнуть из [3], где наглядно представлены педагогические инструменты и виды учебных ресурсов LMS Moodle вместе с рекомендациями преподавателю-разработчику электронного курса. Важность технологической компетентности педагогов с ДОТ связана с тем, что разрабатываемые ими ЭОР/ЭУМК должны технологически компенсировать существенное сокращение времени «живых» межличностных коммуникаций «студент – преподаватель», «студент – студент», что является главной проблемой эффективности обучения с массовым применением ДОТ, особенно в дистанционном образовании.

Как уже было отмечено выше, методолого-педагогическая эффективность ДОТ в образовании, в особенности в его современных формах (дистанционной и онлайн), существенно зависит от качества используемых ЭОР/ЭУМК. Еще раз подчеркнем, что только качественные ЭОР/ЭУМК могут компенсировать снижение интенсивности «живых» межличностных коммуникаций, частично возместить этот недостающий, но важный учебно-воспитательный ресурс. Такого качества ЭОР/ЭУМК можно достичь, например, имитацией взаимодействия обучаемого с «виртуальным» преподавателем, обеспечением вариативности учебной траектории в зависимости от достигнутых результатов, в идеале – наделением ЭОР/ЭУМК элементами искусственного интеллекта (например, в виде адекватной «правдоподобной» реакции на те или иные действия обучаемого<sup>8</sup>). При этом следует отдавать себе отчет в том, что на современном уровне развития информационно-коммуникационных технологий и технологической компетентности педагогических кадров в массовых реализациях ЭОР/ЭУМК сегодня можно ожидать наличие лишь низшего уровня их «интеллектуальности» – интерактивности, основанной на *технологии гипертекста*. Но даже на таком уровне конструирование ЭОР/ЭУМК высокого качества является сложным и высокочувствительным процессом, включает глубокую проработку сценария взаимодействия обучаемого с ЭОР/ЭУМК. Далее требуется режиссура отобранных исходных материалов ЭОР/ЭУМК, то есть подходящая изучаемому предмету и предполагаемой аудитории «оркестровка». Словами «сценарий» и «режиссура» еще раз подчеркивается родственность задачи разработки качественного интерактивного ЭОР/ЭУМК задаче создания (интерактивного учебного) фильма. Такая задача реально требует участия многих специалистов (CS50: Введение в информатику [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pll.harvard.edu/course/cs50-introduction-computer-science?delta=0>. Дата доступа: 24.11.2022), в то время как сегодня разработка ЭОР/ЭУМК осуществляется лишь одним (как правило) преподавателем. По данным зарубежных источников на разработку академического (университетского) электронного учебного курса преподавателю дается время, эквивалентное длительности его практической реализации.

### **Эффективность применения дистанционных образовательных технологий**

Понятие «эффективность» применительно к ДОТ сегодня обсуждается чаще всего в двух аспектах – организационно-техническом и методолого-педагогическом. При этом первый аспект – предмет обсуждения главным образом в кругу IT-специалистов, обеспечивающих функционирование соответствующих информационных систем, а второй – в существенно более широкой академической среде, включая обучающихся. В условиях широкомасштабного внедрения ДОТ, например, при организации дистанционного обучения и/или массового открытого образования, обнаруживается и третий аспект эффективности ДОТ – административно-управленческий (редко обсуждаемый в среде управленцев, но нередко дебатированный в академической среде: обсуждаются концепции, состав, качество, авторское право<sup>9</sup> на ЭОР/ЭУМК и другие аспекты). Это определенно указывает на пересечение интересов трех основных групп стейкхолдеров – адми-

<sup>8</sup> В качестве примера можно указать применяемое для оценки порога компетентности в интерактивных IQ-тестах увеличение скорости предъявления и/или сложности тестовых вопросов по мере роста накопленного балла и скорости реакции испытуемого.

<sup>9</sup> Термин «составитель» – более адекватный в отношении ЭОР/ЭУМК, чем «автор», поскольку сфера образования по своей природе исключительно компилятивна.

нистраторов системы/учреждения образования, непосредственных участников образовательного процесса – педагогов и обучающихся и, наконец, технических специалистов, обеспечивающих функционирование программно-технических систем на основе ДОТ на уровне системы/учреждения образования. Вполне естественно, что каждая группа оценивает эффективность ДОТ со своей «профессиональной» точки зрения. Важно отметить сам факт того, что оценка качества и эффективности ДОТ в образовании определяется ролевыми интересами, мотивами поведения и действиями различных групп<sup>10</sup>.

Особая роль в ДОТ «принадлежит» цифровым учебным ресурсам высокой степени интерактивности (Уровни интерактивности в электронном обучении: какой из них вам нужен? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.shiftlearning.com/blog/bid/190140/Levels-of-Interactivity-in-eLearning-Which-one-do-you-need>. Дата доступа: 24.11.2022.). В отношении таких ресурсов термин «конструирование» представляется более точным, чем «разработка». Сегодня в условиях легкой доступности огромного количества цифровой информации понятие «разработка» естественным образом включает поиск, логическое структурирование и подходящую стилизацию «готовых» информационных источников в методически целостный интерактивный ЭОР/ЭУМК. Не секрет, что в качестве источников их конструирования часто используются электронные версии (классических) учебников, пособий и оригинальных текстов. Этот подход представляется верным, заслуживающим распространения и популяризации в академической среде. При таком подходе сохраняются преемственность научного знания, его *онтология* в исторической ретроспективе. Опора на источники, «выдержавшие» рецензирование и неоднократные переиздания, заслужившие «одобрение» академического сообщества, «задает» *содержательный стандарт предметной области*, сохраняя при этом возможность авторского видения предмета и усиливая педагогический эффект своими комментариями, ссылками на дополнительные (альтернативные) источники и т. п.

## Заключение

1. Все большая «технологичность» ЭОР/ЭУМК не должна развиваться в ущерб их предметному содержанию, вести к нарушению положений и требований образовательных стандартов. Для обеспечения этого полезно ориентировать учебно-методические объединения на организацию работ по созданию и поддержанию в актуальном состоянии профильных образовательных информационных активов – открытых каталогов информационных ресурсов, рекомендуемых для разработки профильных ЭОР/ЭУМК на основе и с использованием дистанционных образовательных технологий. Полезным в данном направлении представляется создание примерных коллекций отраслевых ЭОР/ЭУМК по учебным предметам, направлениям и уровням образования.

2. Информационные системы, предназначенные для управления обучением (например, LMS Moodle), постоянно совершенствуются. Идеология развития их программного обеспечения традиционно следует системному принципу наследования его версий: совместимость сверху вниз – это означает, что более поздние (новые) версии программного обеспечения «умеют» работать с файлами (документами), разработанными в более ранних (старых) версиях, но не наоборот. Поэтому в условиях разнородности версий программного обеспечения весьма сложно, а часто (как, например, в случае однотипных CMS различных версий) невозможно, обеспечить полную (сквозную) переносимость и совместимость ЭОР/ЭУМК. Выходом из ситуации видится создание и широкомасштабное внедрение единой отраслевой программно-технической платформы для обеспечения систем/форм образования на основе ДОТ (по примеру moodlecloud.com). При такой организации их «технической» поддержки обеспечивается надежное и эффективное функционирование и развитие дистанционного образования и открытого образования на основе ДОТ. Такая организация обеспечивает: во-первых, одновременное обновление версий программного обеспечения для дистанционных образовательных технологий и тем самым постоянную технологическую стандартизацию инструментальных средств разработки и транспорта ЭОР, во-вторых, облегчает решение проблем повышения квалификации и переподготовки педагогических кадров в сфере информационно-коммуникационных технологий, в-третьих, способствует развитию коллективного творчества и эффективному разделению труда в разработке сложных ЭОР/ЭУМК.

<sup>10</sup> Эти интересы, мотивы поведения и действия, а также соответствующие оценки эффективности в рассматриваемом случае могут быть охарактеризованы как управленческие, методолого-педагогические и технические.

3. Следует больше внимания уделить развитию фундаментальных исследований в области цифрового обучения [4], в частности, малоисследованной проблеме утраты невербальных коммуникаций подростков и взрослых при массовом применении дистанционных образовательных технологий, а также социальных эффектов автоматизации и роботизации обучения и образования в целом.

### Список литературы

1. История и философия Moodle [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moodle.ru/mod/page/view.php?id=417>. Дата доступа: 24.11.2022.
2. Конструктивизм в обучении: почему этот прекрасный педагогический подход не стал массовым [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://do-centr.ru/2021/10/17/konstruktivizm-v-obuchenii-pochemu-jetot-prekrasnyj-pedagogicheskij-podhod-ne-stal-massovym/>. Дата доступа: 24.11.2022.
3. Инструменты Moodle 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://eschool.kuz-edu.ru/files/doc/Инструменты%20педагога\\_Моодл.pdf](https://eschool.kuz-edu.ru/files/doc/Инструменты%20педагога_Моодл.pdf). Дата доступа: 24.11.2022.
4. Собиорова, Н. Н. Невербальная коммуникация / Н. Н. Собиорова // Проблемы современной науки и образования. 2021. № 5-2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/neverbalnaya-kommunikatsiya-1/>.

### References

1. *History and Philosophy of Moodle*. Available: <https://moodle.ru/mod/page/view.php?id=417> (Accessed 24 November 2022).
2. *Constructivism in Teaching: Why this Excellent Pedagogical Approach Has Not Become Widespread*. Available: <https://do-centr.ru/2021/10/17/konstruktivizm-v-obuchenii-pochemu-jetot-prekrasnyj-pedagogicheskij-podhod-ne-stal-massovym/> (Accessed 24 November 2022).
3. *Moodle 2 Tools*. Available: [https://eschool.kuz-edu.ru/files/doc/Teacher's\\_Tools%20\\_Model.pdf](https://eschool.kuz-edu.ru/files/doc/Teacher's_Tools%20_Model.pdf) (Accessed 24 November 2022).
4. Sobirova N. N. (2021) Non-Verbal Communication. *Problems of Modern Science and Education*. (5-2). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/neverbalnaya-kommunikatsiya-1/>.

### Вклад авторов / Authors' contribution

Все авторы в равной степени внесли вклад в написание статьи / All authors equally contributed to the writing of the article.

### Сведения об авторах

**Гайсенюк В. А.**, д. ф.-м. н., профессор, главный научный сотрудник научного центра Республиканского института высшей школы.

**Максимов С. И.**, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой информационных технологий в образовании Республиканского института высшей школы.

**Клишевич Н. С.**, магистр управления, начальник научного центра Республиканского института высшей школы.

**Брезгунова И. В.**, к. пед. н., доцент, проректор по научно-методической работе Академии последипломного образования.

### Адрес для корреспонденции

220007, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Московская, 15  
Республиканский институт высшей школы  
Tel. +375 17 213-16-80  
E-mail: [ni\\_center@mail.ru](mailto:ni_center@mail.ru)  
Клишевич Наталья Сергеевна

### Information about the authors

**Gaisenyok V. A.**, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Chief Researcher at the Scientific Center of the National Institute for Higher Education.

**Maximov S. I.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Information Technologies in Education of the National Institute for Higher Education.

**Klishevich N. S.**, Master of Management, Head of the Scientific Center of the National Institute for Higher Education.

**Brezgunova I. V.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Vice-Rector for Scientific and Methodical Work Academy of Postgraduate Education.

### Address for correspondence

220007, Republic of Belarus,  
Minsk, Moskovskaya St., 15  
National Institute for Higher Education  
Tel. +375 17 213-16-80  
E-mail: [ni\\_center@mail.ru](mailto:ni_center@mail.ru)  
Klishevich Natallia Sergeevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-12-17>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 004.832

## ВАРИАНТЫ УСИЛЕНИЯ АНСАМБЛЯ ГИПОТЕЗ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЦЕЛЕВОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ

А. Ф. ЧЕРНЯВСКИЙ<sup>1</sup>, Е. И. КОЗЛОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко  
Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь)

<sup>2</sup>Белорусский государственный университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 01.07.2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Интеллектуальные обучающие системы традиционно состоят из трех основных компонентов: модели обучаемого, представляющей собой блок с информацией об обучаемом; модели процесса обучения, задающей форму подачи информации обучаемому и тип оценки качества деятельности обучаемого; модельного интерфейса как связующего звена между экспертным блоком интеллектуальной обучающей системы и другими ее блоками. Алгоритмы обучения в компонентах образовательных систем являются неотъемлемыми элементами их работы при формировании баз знаний, стратегий обучения, процедур оценивания, а также при организации взаимодействия между системой и пользователями. Рассмотрена задача поиска целевой функции при настройке обучающей системы путем введения возможности усиления ансамбля гипотез с помощью обучающей функции, множество значений которой формируется на основе весовых стоимостей исходных гипотез при учете собственных весов и результатов классификации соответствующих примеров.

**Ключевые слова:** обучение, гипотеза, ансамбль гипотез, обучающая функция, классификация.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность.** Работа выполнена в рамках НИР «Концепция интеллектуальной системы совершенствования процесса обучения IT-специалистов в области информационной безопасности на базе аппаратно-программной платформы факультета радиофизики и компьютерных технологий БГУ» № ГР 20220616, государственной программы научных исследований «Цифровые и космические технологии, безопасность человека, общества и государства», подпрограммы «Цифровые технологии и космическая информатика» на 2021–2025 годы.

**Для цитирования.** Чернявский А. Ф., Козлова Е. И. Варианты усиления ансамбля гипотез в условиях неопределенностей формирования целевой обучающей функции. *Цифровая трансформация*. 2022; 28 (4): 12–17.

## OPTIONS FOR STRENGTHENING THE ENSEMBLE OF HYPOTHESES UNDER UNCERTAINTY OF THE OBJECTIVE LEARNING FUNCTION FORMATION

ALEXANDER F. CHERNYAVSKY<sup>1</sup>, ALENA I. KAZLOVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University  
(Minsk, Republic of Belarus)

<sup>2</sup>Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 01.07.2022

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** Intelligent learning systems traditionally consist of three main components: a student model, which is a block with information about the student; a model of the learning process that sets the form for presenting information to the student and the type of quality assessment of the student's activity; the model interface as a link between the expert block of the intelligent learning system and other learning algorithms in the compo-

nents of educational systems. These parts are integral elements in their work on the formation of knowledge bases, learning strategies, assessment procedures, as well as in organizing interaction between the system and users. The paper considers the problem of finding an objective function when setting up a learning system by introducing the possibility of strengthening an ensemble of hypotheses using a learning function, the set of values of which is formed on the basis of the weighted costs of the initial hypotheses, taking into account their own weights and the results of the classification of the corresponding examples.

**Keywords:** learning, hypothesis, ensemble of hypotheses, learning function, classification.

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

**Gratitude.** The work was carried out within the framework of the research work “The concept of an intelligent system for improving the process of training IT specialists in the field of information security based on the hardware and software platform of the Faculty of Radiophysics and Computer Technologies of the Belarusian State University” No GR 20220616, the state research program “Digital and space technologies, human security, society and states”, subprogram “Digital technologies and space informatics” for 2021–2025.

**For citation.** Chernyavsky A. F., Kazlova A. I. Options for Strengthening the Ensemble of Hypotheses under Uncertainty of the Objective Learning Function Formation. *Digital Transformation*. 2022; 28 (4): 12–17.

## Введение

Как известно, интеллектуальные системы обучения состоят из трех основных компонентов. Первым из них является модель обучаемого, представляющая собой блок с информацией об обучаемом, с выбранными им стратегией обучения и совершаемыми ошибками. Второй компонент – модель процесса обучения, задает форму подачи информации обучаемому и тип оценки качества деятельности обучаемого. В этот же блок входят процесс тренировки студента курса, а также установление перечня тестовых испытаний и итоговые процедуры контроля по изучаемой теме. Модельный интерфейс является связующим звеном между экспертным блоком интеллектуальной обучающей системы и другими ее блоками [1]. Алгоритмы обучения в компонентах самой образовательной системы – неотъемлемые элементы ее работы как при формировании баз знаний, стратегий обучения, процедур оценивания, так и при организации взаимодействия между системой и пользователями.

Любой детерминированный алгоритм контролируемого обучения получает в качестве исходной информации правильные значения неизвестной функции, соответствующие конкретным входным данным, и должен попытаться предсказать ее значение этой или сформировать какую-либо другую функцию, значения которой будут близкими к известным изначально значениям [2]. В классическом варианте детерминированного контролируемого обучения исходной информацией являются значения целевой (обучающей) функции  $f(x)$ , соответствующие конкретным входным данным  $x$ . Необходимо по совокупности примеров, представленных парами входных и выходных данных  $(x, f(x))$ , установить собственно функцию  $f(x)$  либо другую функцию  $h(x)$ , близкую к ней. Функция  $h(x)$  называется гипотезой. Основная проблема формирования гипотезы  $h(x)$ , близкой к целевой функции  $f(x)$ , возникает в тех случаях, когда сама эта функция не известна.

Принципиально в проблеме обучения различают случаи, когда агент, подлежащий обучению, вообще не имеет никаких знаний о том, что он должен изучить, либо предполагается, что в процессе обучения на основе собственного опыта доступной агенту является информация, содержащаяся во множестве исходных примеров [3]. Несмотря на то что с теоретической точки зрения оба упомянутых случая считаются частными, каждому из них на практике приходится уделять внимание. Сказанное особенно важно для второго случая, который является типовым в процедурах организации учебного процесса вузов.

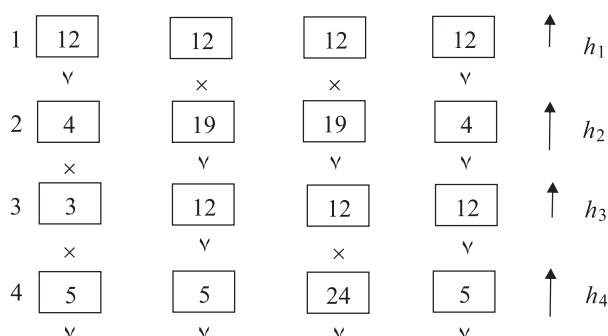
Применяются различные способы формирования предсказаний. Из исходного пространства гипотез выбирается отдельная гипотеза либо определенная группа (ансамбль) гипотез, на основании которых комбинируется результирующее предсказание, соответствующее наилучшей классификации. В других случаях априорные сведения о весовых значениях как правильно, так и неправильно классифицированных примеров последовательно используются для определения весовых значений исходных гипотез. На этой основе формируется итоговая мажоритарная комбинация гипотез. Фактически ансамбль является универсальным методом расширения пространства гипотез. Он сам может также рассматриваться в качестве гипотезы, а множество всех возможных ансамблей обычно считают новым пространством более выразительного класса гипотез [4].

### Постановка задачи

Для примеров из исходного множества (материала обучения) вырабатывается первая гипотеза  $h_1$ , которая классифицирует одни обучающие примеры правильно, а другие – неправильно. В тех случаях, когда следующая гипотеза лучше справляется с задачей классификации примеров, веса неправильно классифицированных примеров, как правило, увеличиваются, а веса правильно классифицированных уменьшаются. Для обучающего множества со всеми назначенными весами вырабатывается новая гипотеза  $h_2$ . Описанный процесс продолжается до выработки  $M$  гипотез, которые являются исходными для реализации алгоритма усиления.

Этот алгоритм реализуется путем использования идеи взвешенного обучающего множества. Итоговая гипотеза-ансамбль представляет собой взвешенную мажоритарную комбинацию из всех  $M$  гипотез, каждая из которых имеет свой вес в соответствии с результатом, полученным при реализации процесса обучения. Известны различные варианты реализации алгоритма усиления, отличающиеся способами корректировки весовых коэффициентов исходных примеров и комбинирования гипотез.

Концептуальная иллюстрация работы одного из таких алгоритмов – алгоритма Adaboost – представлена на рис. 1 [4]. Данный алгоритм повышает точность первоначально обучающего алгоритма при относительно большой неопределенности пространства первоначальных гипотез независимо от способа и сложностей формирования обучающей функции.



**Рис. 1.** Иллюстрация функционирования алгоритма усиления для обучения ансамбля  
**Fig. 1.** An illustration of the gain algorithm operation for ensemble learning

Ансамбль представлен четырьмя текущими гипотезами, векторы которых обозначены на рис. 1 по вертикали цифрами. Каждый прямоугольник соответствует определенному разделу (примеру) материала обучения. Находящиеся в прямоугольниках цифры обозначают априорно известные весовые значения примеров, соответствующие относительной сложности их функционально-структурной организации.

Размещенные под прямоугольниками галочки (крестики) обозначают правильность (ложность) восприятия предметной области на каждом этапе классификации. Высота вертикальных стрелок условно соответствует априорному и подлежащему коррекции значению относительного веса  $h$  каждого этапа классификации в последовательностях текущих гипотез ансамбля. В исследовании рассматривали два варианта реализации процедуры обучения ансамбля:  $A$  – сопоставление стоимости примеров смежных последовательностей различных гипотез;  $B$  – предварительно формируемое множество дискретных значений обучающей функции для всех примеров ансамбля гипотез на основе результата анализа априорной информации, сопутствующей исходным гипотезам.

### Процедура обучения на основе сопоставления стоимостей примеров последовательностей различных гипотез

Предполагается, что анализируемые в последовательностях примеры принадлежат одной и той же популяции, соответствующей конкретному тематическому разделу учебной дисциплины, но представлены с различным уровнем сложности. Это обстоятельство учитывается функциональной стоимостью рассматриваемых примеров: чем сложнее пример, тем значительнее его исходная функциональная стоимость. Необходимость и целесообразность сопоставления примеров

разной функциональной стоимости определяются тем, что как сложные, так и простые примеры содержат эквивалентные базовые элементы учебного материала. Дисбаланс функциональных стоимостей сопоставляемых примеров из текущих гипотез корректируется выбором соответствующих весовых коэффициентов. Очевидно, что значения коэффициентов могут использоваться также для оценки уровня смыслового отличия примеров, определения доли эквивалентных и различающихся элементов исходного учебного материала.

Обозначим вектор  $\mathbf{W}$  из  $N$  весов примеров, которые первоначально устанавливаются равными  $w_i = 1/16 = 0,06$ ,  $N = 16$  – количество всех примеров. Входными данными являются произведения  $h(m)X'_i$ , где  $h(m)$  – вектор весов текущих гипотез  $m$ ,  $m = 1-4$ ;  $X'_i = X_i w_i$ ,  $w_i$  – весовой коэффициент рассматриваемого примера  $i$  при исходном значении его функциональной стоимости  $X_i$ ,  $i = 1-16$ .

Выходные данные формируются в виде взвешенных стоимостей согласно выражению  $y'_j = w_j y_i$ , где  $w_j$  – весовой коэффициент;  $y_i = x_i \pm 1$  – стоимость смежного примера  $i \pm 1$  из последовательности примеров соседней гипотезы, как показано в табл. 1.

Процедура сопоставления и преобразования весовых стоимостей  $X_i$  для  $i = 1-N$  примеров из последовательностей, относящихся к различным гипотезам, заключается в следующем [3]:

– если  $h(m)X'_i \neq y'_i$ , то

$$error \leftarrow error + w_j; \tag{1}$$

– определяются значения вектора весов гипотез в соответствии с функцией

$$Z(m) = \text{Log}(1 - error) / error. \tag{2}$$

Итоговые результаты вычислений на основании выражений (1) и (2) приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Итоговые результаты вычислений значений  $Z(m)$  при реализации варианта  $A$  процедуры обучения ансамбля гипотез

**Table 1.** The final results of calculating the  $Z(m)$  values in the implementation of option  $A$  of the procedure for training the ensemble of hypotheses

$x_1 = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 4$ $w_j = 0,08$ $h_1 = 0,6$ $error = 0,11$ $error \leftarrow 0,19$ $Z(m) \leftarrow 0,62$	$x_5 = 12$ $w_i = 0,07$ $y = 19$ $w_j = 0,02$ $h_1 = 0,6$ $error = 0,15$ $error \leftarrow 0,17$ $Z(m) \leftarrow 0,68$	$x_9 = 12$ $w_i = 0,15$ $y = 19$ $w_j = 0,05$ $h_1 = 0,6$ $error = 0,13$ $error \leftarrow 0,18$ $Z(m) \leftarrow 0,66$	$x_{13} = 12$ $w_i = 0,05$ $y = 4$ $w_j = 0,06$ $h_1 = 0,6$ $error = 0,12$ $error \leftarrow 0,18$ $Z(m) \leftarrow 0,66$
$x_2 = 4$ $w_i = 0,08$ $y = 3$ $w_j = 0,1$ $h_2 = 1,0$ $error = 0,02$ $error \leftarrow 0,12$ $Z(m) \leftarrow 0,86$	$x_6 = 19$ $w_i = 0,02$ $y = 12$ $w_j = 0,02$ $h_2 = 1,0$ $error = 0,14$ $error \leftarrow 0,16$ $Z(m) \leftarrow 0,72$	$x_{10} = 19$ $w_i = 0,05$ $y = 12$ $w_j = 0,075$ $h_2 = 1,0$ $error = 0,05$ $error \leftarrow 0,125$ $Z(m) \leftarrow 0,84$	$x_{14} = 4$ $w_i = 0,06$ $y = 12$ $w_j = 0,012$ $h_1 = 1,0$ $error = 0,1$ $error \leftarrow 0,11$ $Z(m) \leftarrow 0,9$
$x_3 = 3$ $w_i = 0,15$ $y = 5$ $w_j = 0,02$ $h_3 = 0,6$ $error = 0,17$ $error \leftarrow 0,19$ $Z(m) \leftarrow 0,62$	$x_7 = 12$ $w_i = 0,05$ $y = 5$ $w_j = 0,042$ $h_3 = 0,6$ $error = 0,15$ $error \leftarrow 0,192$ $Z(m) \leftarrow 0,61$	$x_{11} = 12$ $w_i = 0,075$ $y = 24$ $w_j = 0,015$ $h_3 = 0,6$ $error = 0,18$ $error \leftarrow 0,195$ $Z(m) \leftarrow 0,61$	$x_{15} = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 5$ $w_j = 0,06$ $h_3 = 0,6$ $error = 0,13$ $error \leftarrow 0,19$ $Z(m) \leftarrow 0,62$
$x_4 = 5$ $w_i = 0,05$ $y = 3$ $w_j = 0,08$ $h_4 = 1,0$ $error = 0,01$ $error \leftarrow 0,09$ $Z(m) \leftarrow 1,0$	$x_8 = 5$ $w_i = 0,04$ $y = 12$ $w_j = 0,01$ $h_4 = 1,0$ $error = 0,08$ $error \leftarrow 0,09$ $Z(m) \leftarrow 1,0$	$x_{12} = 24$ $w_i = 0,038$ $y = 12$ $w_j = 0,075$ $h_4 = 1,0$ $error = 0,01$ $error \leftarrow 0,085$ $Z(m) \leftarrow 1,0$	$x_{16} = 5$ $w_i = 0,04$ $y = 12$ $w_j = 0,01$ $h_4 = 1,0$ $error = 0,08$ $error \leftarrow 0,09$ $Z(m) \leftarrow 1,0$

Коррекцию весовых коэффициентов  $w_{(i)}$  и  $w_{(j)}$ , необходимую для обеспечения минимально возможного значения ошибки (1), осуществляли по стандартизованной схеме: для правильно классифицированных примеров их значения уменьшались, а для неправильно классифицированных – увеличивались.

Из гипотез  $m = 1-4$ , формирующих вектор  $h(m)$ , выбирали гипотезу 4 как соответствующую наивысшим значениям вектора весов гипотез  $Z(m)$ . Очевидна также возможность выборочной классификации комплекса примеров из различных гипотез, например:  $h_2(x_2, x_{14})$ ;  $h_3(x_3, x_{15})$ .

### Процедура обучения на основе предварительно сформированного множества дискретных значений обучающей функции

Возможность предварительного формирования множества дискретных значений обучающей функции для каждого примера всех имеющихся гипотез обусловлена наличием исходной информации о весовых значениях примеров, правильной или ложной их классификации, а также априорных сведений подлежащих коррекции значений относительного веса текущих гипотез. Итоговые результаты вычислений на основании выражения (2) при реализации варианта  $B$  процедуры обучения ансамбля гипотез приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Итоговые результаты вычислений значений  $Z(m)$  при реализации варианта  $B$  процедуры обучения ансамбля гипотез

**Table 2.** The final results of calculating the  $Z(m)$  values in the implementation of option  $B$  of the procedure for training the ensemble of hypotheses

$x_1 = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 10$ $w_j = 0,025$ $h_1 = 0,6$ $error = 0,18$ $error \leftarrow 0,205$ $Z(m) \leftarrow 0,58$	$x_5 = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 13$ $w_j = 0,02$ $h_1 = 0,6$ $error = 0,17$ $error \leftarrow 0,19$ $Z(m) \leftarrow 0,62$	$x_9 = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 25$ $w_j = 0,01$ $h_1 = 0,6$ $error = 0,18$ $error \leftarrow 0,19$ $Z(m) \leftarrow 0,62$	$x_{13} = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 8$ $w_j = 0,035$ $h_1 = 0,6$ $error = 0,15$ $error \leftarrow 0,185$ $Z(m) \leftarrow 0,63$
$x_2 = 4$ $w_i = 0,06$ $y = 6$ $w_j = 0,03$ $h_2 = 1,0$ $error = 0,06$ $error \leftarrow 0,09$ $Z(m) \leftarrow 0,98$	$x_6 = 19$ $w_i = 0,05$ $y = 16$ $w_j = 0,057$ $h_2 = 1,0$ $error = 0,04$ $error \leftarrow 0,097$ $Z(m) \leftarrow 0,95$	$x_{10} = 19$ $w_i = 0,04$ $y = 14$ $w_j = 0,05$ $h_2 = 1,0$ $error = 0,06$ $error \leftarrow 0,11$ $Z(m) \leftarrow 0,9$	$x_{14} = 4$ $w_i = 0,06$ $y = 3$ $w_j = 0,07$ $h_1 = 1,0$ $error = 0,03$ $error \leftarrow 0,1$ $Z(m) \leftarrow 0,94$
$x_3 = 3$ $w_i = 0,15$ $y = 4$ $w_j = 0,03$ $h_3 = 0,6$ $error = 0,15$ $error \leftarrow 0,18$ $Z(m) \leftarrow 0,64$	$x_7 = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 10$ $w_j = 0,027$ $h_3 = 0,6$ $error = 0,16$ $error \leftarrow 0,187$ $Z(m) \leftarrow 0,63$	$x_{11} = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 16$ $w_j = 0,016$ $h_3 = 0,6$ $error = 0,18$ $error \leftarrow 0,196$ $Z(m) \leftarrow 0,60$	$x_{15} = 12$ $w_i = 0,06$ $y = 8$ $w_j = 0,035$ $h_3 = 0,6$ $error = 0,15$ $error \leftarrow 0,185$ $Z(m) \leftarrow 0,63$
$x_4 = 5$ $w_i = 0,056$ $y = 3$ $w_j = 0,09$ $h_4 = 1,0$ $error = 0,01$ $error \leftarrow 0,1$ $Z(m) \leftarrow 0,94$	$x_8 = 5$ $w_i = 0,06$ $y = 4$ $w_j = 0,07$ $h_4 = 1,0$ $error = 0,02$ $error \leftarrow 0,09$ $Z(m) \leftarrow 0,98$	$x_{12} = 24$ $w_i = 0,04$ $y = 18$ $w_j = 0,051$ $h_4 = 1,0$ $error = 0,01$ $error \leftarrow 0,101$ $Z(m) \leftarrow 0,94$	$x_{16} = 5$ $w_i = 0,036$ $y = 4$ $w_j = 0,03$ $h_4 = 1,0$ $error = 0,06$ $error \leftarrow 0,09$ $Z(m) \leftarrow 0,98$

### Заключение

1. Рассмотрены варианты обучения ансамбля гипотез на основе сопоставления стоимостей примеров смежных последовательностей текущих гипотез, а также с использованием множества дискретных значений обучающей функции, предварительно сформированного на основе исходной информации ансамбля. В обоих случаях обеспечивается высокая точность классификации



примеров, представленных ансамблем первоначальных гипотез. В первую очередь это обусловлено реализацией механизма двойной коррекции сопоставляемых величин – весовых стоимостей примеров и соответствующих значений обучающего множества; коррекция этих величин осуществляется выбором их весовых коэффициентов с учетом априорных весов текущих гипотез.

2. Метод выборочной классификации и комплексирования примеров из ансамбля гипотез можно рекомендовать для использования при создании учебных пособий по естественнонаучным дисциплинам, особенно предназначенным для организации практических занятий. Он позволяет реализовать объективную градацию степени сложности используемого учебного материала, а также адекватную оценку результатов освоения этого материала учащимися.

### Список литературы

1. Голенков, В. В. Виртуальные кафедры и интеллектуальные обучающие системы / В. В. Голенков, В. В. Емельянов, В. Б. Тарасов // *Новости искусственного интеллекта*. 2001. № 4. С. 3–13.
2. Волосова, А. В. Технологии искусственного интеллекта в ULS-системах / А. В. Волосова. СПб.: Лань, 2022. 308 с.
3. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. М.: Изд. дом «Вильямс», 2016. 1408 с.
4. Колмогорова, С. С. Основы искусственного интеллекта / С. С. Колмогорова. СПб.: СПбГЛТУ, 2022. С. 51–57.

### References

1. Golenkov V. V., Emelyanov V. V., Tarasov V. B. (2001) Virtual Departments and Intelligent Learning Systems. *Novosti Iskusstvennogo Intellekta*. (4), 3–13 (in Russian).
2. Volosova A. V. (2022) *Artificial Intelligence Technologies in ULS Systems*. Sankt Petersburg, Lan Publ. 308 (in Russian).
3. Russel S., Norvig P. (2016) *Artificial Intelligence: a Modern Approach*. Moscow, Prentice Williams Publishing House Publ. 1408 (in Russian).
4. Kolmogorova S. S. (2022) *Osnovy Iskusstvennogo Intellekta*. Sankt Petersburg, SPbGLTU, Publ. 51–57 (in Russian).

### Вклад авторов / Authors' contribution

Все авторы внесли равный вклад в написание статьи / All authors contributed equally to the writing of the article.

### Сведения об авторах

**Чернявский А. Ф.**, д. т. н., профессор, академик Национальной академии наук Беларуси, заведующий лабораторией специализированных вычислительных систем Института прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко Белорусского государственного университета.

**Козлова Е. И.**, к. ф.-м. н., доцент, заведующая кафедрой интеллектуальных систем Белорусского государственного университета.

### Адрес для корреспонденции

220045, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Ак. Курчатова, 5–621  
Белорусский государственный университет  
Тел. +375 17 209-59-36  
E-mail: kozlova@bsu.by  
Козлова Елена Ивановна

### Information about the authors

**Chernyavsky A. F.**, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Head of the Laboratory of Specialized Computing Systems of A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of the Belarusian State University.

**Kazlova A. I.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Intelligent Systems of the Belarusian State University.

### Address for correspondence

220045, Republic of Belarus,  
Minsk, Ac. Kurchatov St., 5–621  
Belarusian State University  
Tel. +375 17 209-59-36  
E-mail: kozlova@bsu.by  
Kazlova Alena Ivanauna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-18-27>

*Оригинальная статья / Original paper*

УДК 65.012.25+007.3

## ПРОГРАММА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ

О. В. МЯСНИКОВА

*Институт бизнеса Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 17.08.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Рассмотрена проблема управления процессами цифровой трансформации производственно-логистических систем. Описана методика создания комплексной программы цифровой трансформации систем. Представлены решения методологических аспектов создания программы преобразований на базе оптимального проектирования сложных систем, отличающиеся от существующих исследований. Определены порядок разработки программы и логическая последовательность принимаемых решений. Выявлена необходимость применения системного и непрерывного инжиниринга и методологии гибкого (Agile) проектирования при формировании программ и проектов цифровой трансформации производственно-логистической системы. Основными результатами исследования стали методические подходы к созданию программы цифровой трансформации. Представлен порядок разработки комплексной программы цифровой трансформации. Показаны этапы разработки и содержание работ по анализу, стратегическому и календарному планированию мероприятий комплексной программы цифровой трансформации производственно-логистической системы. Область применения предлагаемых решений – управление цифровой трансформацией и развитием производства, проектирование производственно-логистических систем.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, управление развитием, планирование, производственно-логистическая система, проектирование.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Мясникова О. В. Программа цифровой трансформации производственно-логистических систем: методические аспекты разработки. *Цифровая трансформация*. 2022; 28 (4): 18–27.

## DIGITAL TRANSFORMATION PROGRAM OF PRODUCTION AND LOGISTICS SYSTEMS: METHODOLOGICAL ASPECTS OF CREATING

OLGA V. MIASNIKOVA

*School of Business of Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 17.08.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** The paper is devoted to the problem of managing the processes of digital transformation of production and logistics systems. The objective of the article is to describe the methodology for creating a comprehensive program for digital transformation of systems. In contrast to existing studies, the article presents solutions to methodological aspects of creating a transformation program based on optimal design of complex systems. The order of program development and the logical sequence of decisions are determined. The necessity of applying system and continuous engineering as well as Agile design methodology in the formation of programs and projects of digital transformation of the production and logistics system is revealed. The main results of the study were methodological approaches to creating a digital transformation program. The paper describes the procedure for

developing a comprehensive digital transformation program. The stages of development and the content of work on the analysis, strategic and calendar planning of activities of the integrated program of digital transformation of the production and logistics system are shown. The scope of the proposed solutions: digital transformation management, production development management, design of production and logistics systems.

**Keywords:** digital transformation, development management, planning, production and logistics system, design.

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

**For citation.** Miasnikova O. V. Digital Transformation Program of Production and Logistics Systems: Methodological Aspects of Creating. *Digital Transformation*. 2022; 28 (4): 18–27.

## Введение

В последние годы цифровая трансформация (ЦТ) становится центральной проблемой научных дискуссий [1–3]. Этот термин отражает новый поход к применению современных технологий в целях значительного повышения производительности труда и стоимости компаний, промышленных объединений и экономики в целом<sup>1</sup>.

Существенное влияние ЦТ оказывает на развитие производственно-логистических систем (ПЛС). В [4, 5] определено, что ПЛС является сложной, динамичной, экономической, открытой, адаптивной системой с обратной связью. В пределах цикла производства ПЛС включает совокупность звеньев цепи создания ценности, придавая их связи относительную устойчивость. Звенья цепи взаимосвязаны в едином процессе управления материальными и сопутствующими им потоками, которые изменяются для обретения ими количественных и качественных характеристик в соответствии с требованиями потребителей.

Понятие «цифровая трансформация» рассматривается во взаимосвязи с процессами оцифровки (Digitisation) и цифровизации (Digitalisation). Цифровая трансформация ПЛС – это преобразование структур, форм и способов, целевой направленности деятельности ПЛС за счет освоения инновационных и цифровых технологий, результатом которого является создание цифровой ПЛС, где бизнес-модели, жизненные циклы и бизнес-процессы построены на первичности цифрового представления ее основных продуктов и услуг. Такой переход необходим для достижения максимального уровня актуальности данных, для быстрого эффективного клиентоориентированного реагирования.

ЦТ системы охватывает существенное переосмысление моделей ведения бизнеса, организационной культуры, товаров и услуг, процессов и операций, каналов коммуникаций при поставках и реализации продукции. ЦТ, опираясь на перенос данных из аналогового в машиночитаемый формат, позволяет использовать цифровые технологии в управлении процессами и потоками [5–7]. В [4–10] описана организационно-экономическая сущность цифровой трансформации ПЛС (ЦТ ПЛС) как процесса преобразования структур, форм и способов, целевой направленности деятельности ПЛС за счет освоения инновационных и цифровых технологий. Установлено, что создание цифровой ПЛС, где бизнес-модели, жизненные циклы и бизнес-процессы построены на первичности цифрового представления ее основных продуктов и услуг, становится результатом ЦТ системы. В связи с чем разработаны теоретико-концептуальные подходы к формированию ПЛС «Умного производства» как социо-киберфизической системы [8] и концепция ЦТ ПЛС [9].

Цифровое представление сперва производимой продукции, а затем и инфраструктуры и процессов в ПЛС дает возможность использовать новейшие подходы к управлению потоками материалов, информации и финансов с применением цифровых технологий, что закладывает основу для увеличения эффективности. Однако в отсутствие должных организационно-экономических преобразований и реорганизации структуры трансформируемых систем применение новейших технологий не даст высоких результатов. Технологии не в состоянии изменить бизнес, если не обеспечены организационной трансформацией. Изменение должно происходить постоянно и систематически, в связи с чем необходимо методически верно планировать и осуществлять ЦТ ПЛС. Это делает актуальным разработку методики создания комплексной программы ЦТ ПЛС.

<sup>1</sup> The Digital Transformation of Industry. Available: [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf).

Сложности планирования преобразований ПЛС связаны с разнообразием цифровых технологий разной степени проработанности и зрелости от широкого круга IT-компаний при отсутствии единых стандартов бизнес-процессов производственной и логистической деятельности. Это приводит к тому, что под одним и тем же обозначением IT-системы от различных вендоров кроются разный состав решений и функционал. А ввиду отсутствия интероперабельности и согласованности IT-систем различных компаний, их интеграция становится зачастую невозможной.

Не решены проблемы методического обеспечения подготовки программ ЦТ ПЛС, отбора проектных решений и их интеграции. Все еще остаются вопросы адаптации программ к изменениям технологических решений и экономической среды, что вызывает необходимость исследований и разработок в этой области. На базе алгоритма реинжиниринга и инновационного развития сложных систем автором разработаны подходы к проектированию и оптимизации ПЛС [4, 5, 8, 9]. В развитие авторского подхода определена необходимость использования при создании комплексной программы ЦТ ПЛС методики системного и непрерывного инжиниринга в части разработки проектных решений по трансформации ПЛС.

### **Методика создания комплексной программы цифровой трансформации систем на базе оптимального проектирования сложных систем**

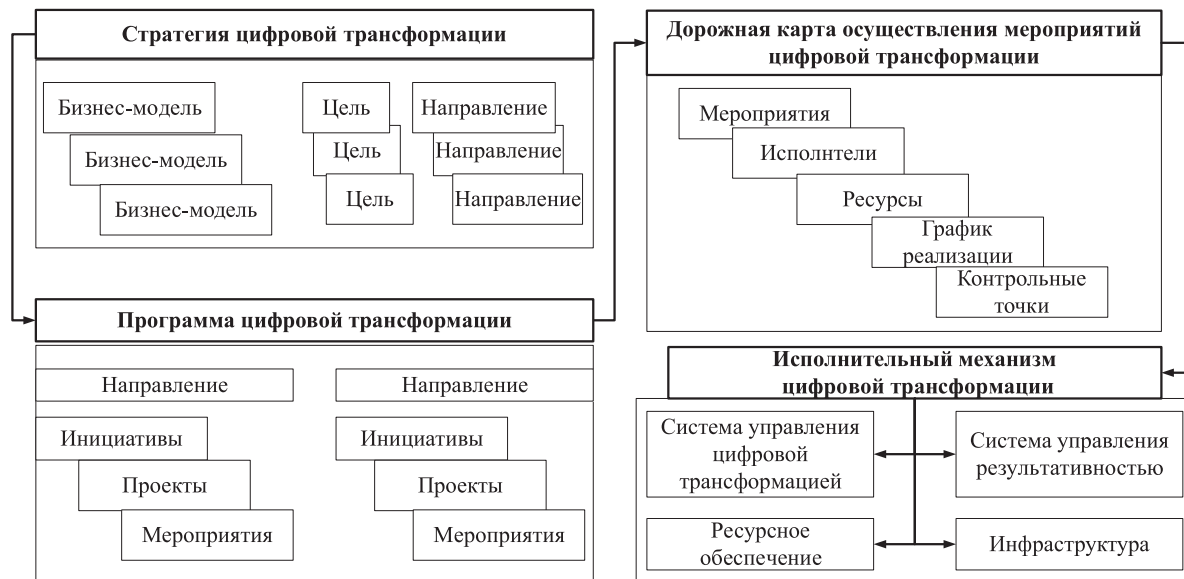
Трансформация ПЛС достигается выполнением ряда действий, вызывающих целенаправленное закономерное изменение свойств, связей и внутренней упорядоченности элементов системы, иначе говоря, формы, структуры и организации ПЛС. Необходимо выбрать такой вариант ее архитектуры, который обеспечит наименьший разрыв между желаемым и реальным уровнем характеристик. В ходе построения выбранного архитектурного решения происходит освоение нововведений, повышающих степень, в которой ПЛС определена, управляема, измерима, контролируема и результативна, т. е. достигается требуемый уровень эффективности изменения входящих потоков в конечный результат [5]. Работы по преобразованию системы можно объединить в следующие блоки:

- 1) обеспечить знаниями о технологиях – включает повышение степени осведомленности работников о цифровых инструментах, обучение сотрудников, обмен лучшими практиками;
- 2) сформулировать стратегическое видение применения цифровых технологий – предусматривает разработку стратегии цифровизации, создание экосистемы партнеров;
- 3) организовать работу цифровых лабораторий и начать реализацию цифровых проектов – требует вложений в перспективные стартапы и инновационные проекты;
- 4) освоить прототипы и типовые цифровые решения – охватывает создание и отработку прототипов, внедрение изменений в пределах небольших зон, испытание новых сфер применения технологий, организацию демонстрационного зала, распространение инициатив;
- 5) осуществить цифровую трансформацию системы – предусматривает цифровизацию процессов, опережающее управление инновациями, создание новой экосистемы.

Очевидна необходимость разработки и осуществления комплексной программы ЦТ ПЛС. Состав ее блоков укрупненно показан на рис. 1.

Стратегическое видение ЦТ ПЛС предусматривает выбор бизнес-модели функционирования ПЛС, установление системы целей и показателей оценки эффективности, выбор направлений ЦТ. В ходе подготовки программы ЦТ стратегические направления конкретизируются и детализируются по инициативам, проектам и мероприятиям.

Создается набор мероприятий, которые должны быть согласованы по последовательности и времени осуществления, ресурсам и инфраструктурному обеспечению, что находит отражение в дорожной карте ЦТ. Формируется исполнительный механизм ЦТ, решающий задачи создания органа управления ЦТ (штаб, офис, отдел), определения его роли и полномочий, ответственности и бюджета, а также создания системы управления результативностью ЦТ, включая механизмы расчета целевых показателей и отчетов по ходу исполнения программы, ее корректировки, вознаграждения и санкций по итогам этапов ЦТ. Механизм ЦТ включает ресурсное и инфраструктурное обеспечение.



**Рис. 1.** Состав комплексной программы цифровой трансформации  
производственно-логистической системы  
(Собственная разработка)

**Fig. 1.** Composition of a comprehensive program for the digital transformation  
of the production and logistics system  
(The author's own development)

### Порядок разработки программы и логическая последовательность принимаемых решений

Разработка программы комплексной цифровой трансформации ПЛС и ее осуществление предусматривают принятие ряда управленческих решений, связанных с:

- 1) формированием желаемого цифрового представления системы, формулировкой целей и задач ЦТ, выбором и детализацией новой бизнес-модели;
- 2) генерацией идей, их ранжированием и отбором, установлением возможностей и ограничений, оценкой зрелости цифровых решений ПЛС, выделением направлений ЦТ;
- 3) планированием ЦТ, определением структур и процессов, необходимых для управления инновациями, организацией освоения цифровых решений, запуском инициатив, проектов, мероприятий идей, созданием экосистемы ЦТ ПЛС и ее исполнительного механизма;
- 4) осуществлением мероприятий из дорожной карты ЦТ, тестированием результатов на пилотных проектах с получением обратной связи от исполнителей производственных задач;
- 5) распространением цифровых инновационных решений.

Исходя из сказанного выше, опишем порядок разработки комплексной программы ЦТ ПЛС (рис. 2).

Этап «Анализ» позволяет сформулировать видение положения и роли ПЛС организации на рынке и в отрасли, установить потребности занять определенную свободную нишу и осуществлять работу согласно бизнес-модели, а на этой основе определить требования к внедрению цифровых решений. Процедуры скаутинга релевантных инновационных решений и цифровых технологий дополняются анализом направлений и макроэкономических условий реализации национальных программ цифрового развития экономики. Аудит бизнес-процессов компании позволяет определить уровень цифровой зрелости или уровень цифровизации, который становится ограничивающим фактором наряду с рисками и угрозами в применении тех или иных цифровых решений в части их интероперабельности и совместимости с имеющимися технологиями и базовыми условиями функционирования ПЛС.

Этап синтеза начинается с разработки стратегических компонент программы ЦТ. Устанавливается, какая бизнес-модель будет применяться, например, цифровая платформа, краудсорсинговая модель, модель использования ресурсов вместо владения ими (сервисная, \*\*-as-a-Service), модель ценообразования на базе достижения результатов и эффекта для клиента (outcome-based

models), модель монетизации персональных данных клиентов, модель замкнутого цикла, обеспечивающая циркулярную систему производства и потребления<sup>2</sup>.

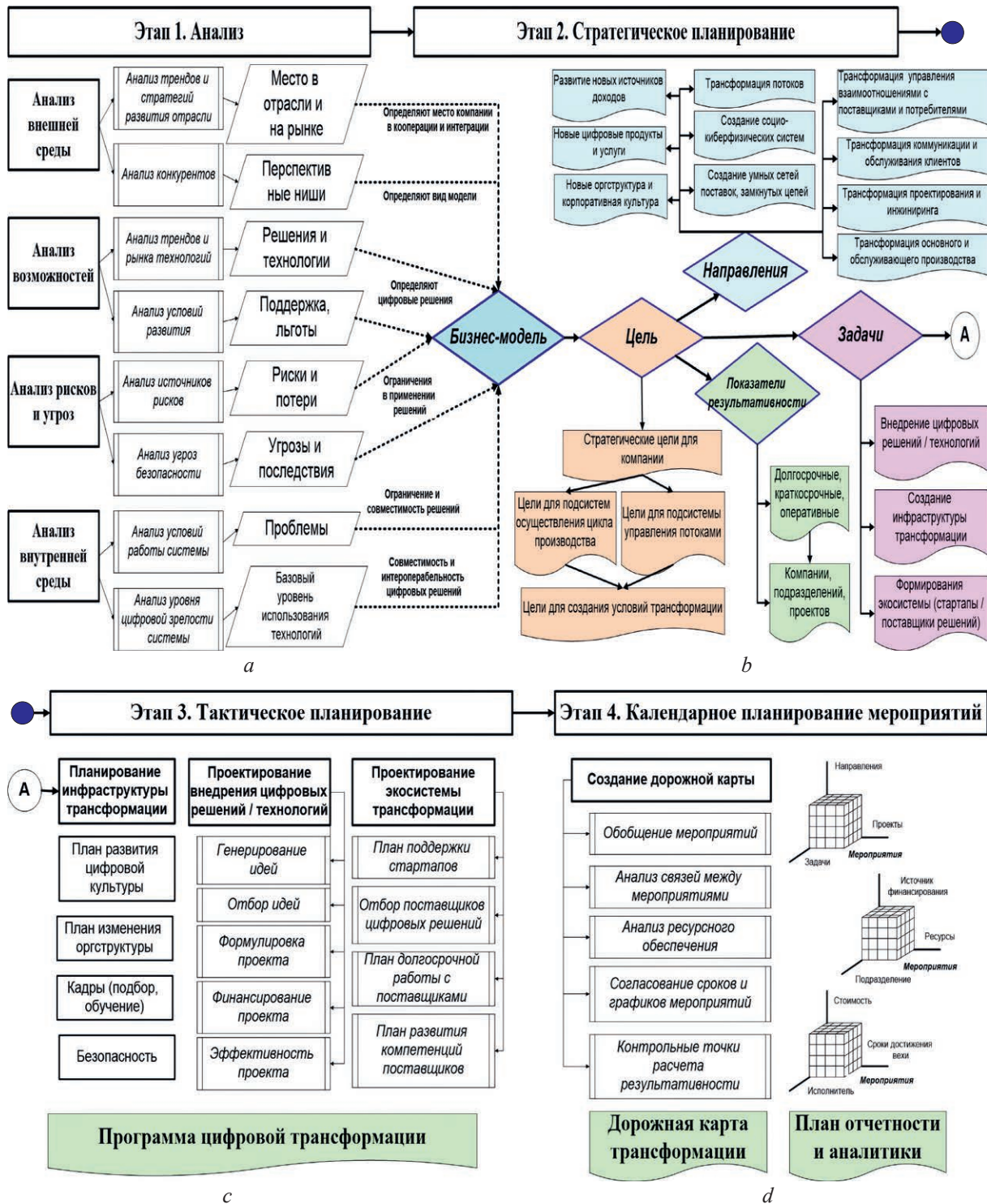


Рис. 2. Порядок разработки комплексной программы цифровой трансформации производственно-логистической системы: a, b – начало; c, d – окончание (Собственная разработка)

Fig. 2. Procedure for developing a comprehensive program of the production-logistics system digital transformation: a, b – part 1; c, d – part 2 (The author's own development)

<sup>2</sup> Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение: докл. к XX Апр. Междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 9–12 апр. 2019 г. / Г. И. Абдрахманова [и др.]; науч. ред. Л. М. Гохберг. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019.

Цели ЦТ ПЛС и показатели результативности формируются как многоуровневая система. На высшем уровне они вытекают исходя из влияния ЦТ на достижения стратегические цели компании – роста рыночной доли, прироста чистой прибыли, роста выручки и стоимости активов. На втором уровне цели и показатели конкретизируются по направлениям – ЦТ производственной и управленческой подсистем и сферам деятельности, а на третьем устанавливаются цели и результативность изменения общих условий для ЦТ. Декомпозиция показателей результативности предусматривает выстраивание системы временных интервалов планирования и оценки, а также установление целей и операционных показателей эффективности для подразделений каждого уровня ответственности, методики расчета планового и фактического уровня и их сравнения.

Исходя из приоритетности задач стратегического развития и потенциального вклада в достижение целей, выбираются направления ЦТ, конкретизируются задачи по блокам создания цифровой инфраструктуры, внедрения технологий, формирования экосистемы разработки цифровых решений. В свою очередь, на этапе 3 формируется пул конкретных проектов программы ЦТ, включая описание для каждой решаемой задачи, внедряемой цифровой технологии, мероприятий, этапов/вех реализации проекта и сроков их достижения, ответственного подразделения, исполнителей, целевых операционных показателей результативности и экономической эффективности.

Создание «Дорожной карты» (этап 4) позволяет согласовать по времени и ресурсам мероприятия и установить систему отчетности и аналитики программы.

Управление программой ЦТ ПЛС и отдельными проектами должно выполняться в интегрированной информационной системе и обеспечивать работу офиса трансформации и исполнителей в едином информационном пространстве. Эффективная координация возможна за счет интеграции «сквозных» систем автоматизированного инженерного анализа CAE (Computer-aided engineering), проектирования CAD (Computer-aided design); технологической подготовки производства CAM (Computer-aided manufacturing) вместе с системами планирования ресурсов предприятия ERP (Enterprise resource planning); технологической подготовки CAP (Computer-aided planing); проектирования (планирования) технологических процессов CAPP (Computer-aided process planning) и оформления технологической документации, а также за счет систем планирования и управления производством PPS (Production planning systems), управления производственными процессами MES (Manufacturing execution system) [5]. Они автоматизируют всю совокупность инженерных расчетов, анализа и симуляции физических процессов, осуществляют динамическое моделирование, проверку и оптимизацию изделий. Для эффективной работы необходим обмен данными в режиме реального времени с сохранением промежуточных решений архитектуры системы. Также важными элементами являются обратная связь от пользователей и анализ отчета об использовании новой технологии, который ложится в основу для формирования следующих проектных решений с возможностью «отката назад» при недостижении должной удовлетворенности пользователя. Это приводит к необходимости разработки проектных решений на базе использования системного и непрерывного инжиниринга и методологии Lean и Agile (бережливый и гибкий).

### **Применение системного и непрерывного инжиниринга и методологии Lean + Agile при разработке проектных решений по цифровой трансформации производственно-логистических систем**

Анализ ряда источников позволяет утверждать, что основной проектной методологией, подходом к созданию сложных систем, к которым относятся и ПЛС, должен выступать системный инжиниринг (СИ). Методология за счет архитектурного подхода к дизайну системы позволяет на всех стадиях проектирования создавать гарантию приемлемости рисков применения системы, проектируя ее мониторинг и тестирование одновременно с инжинирингом требований, что заложено в так называемой V-модели [11]. Инжиниринг требований базируется на мониторинге и глубоком анализе потребностей пользователей создаваемой системы на протяжении всего ее жизненного цикла, а также на установлении на этой основе функциональных требований к системе. Жизненный цикл включает концептуальное проектирование, разработку, создание (изготовление), испытание, эксплуатацию и утилизацию системы. Системный инжиниринг первоочередное внимание уделяет именно описанию архитектуры системы (Architectural description), где акцент делается на взаимосвязи между заинтересованными сторонами (лицами) (Stakeholders), интересами (Concerns) заинтересованных сторон, представлениями (Views), отражающими связанные

с системой интересы, точками зрения (Viewpoints), отражающими соглашения для разработки и использования представлений, между моделями (Models) [5].

В ходе разработки проектных решений следует опираться на специфичные процессы СИ, которые в [12] выделил В. А. Сычев:

- анализ требований: оценка исходных потребностей и переход к требованиям системы;
- функциональный анализ: идентификация функциональности, необходимой для достижения требований системы, и размещение требований по этим функциям;
- синтез: разработка проектов системы и решений по компонентам системы для удовлетворения установленных требований;
- системный анализ и контроль: анализ, документирование, оценка результатов и другие мероприятия для их согласования и уточнения, а также управление коммуникациями между исполнителями;
- верификация: выполняемые мероприятия и элементы системы, необходимые для оценки прогресса и эффективности разрабатываемых системных продуктов и процессов, для измерения соответствия спецификации.

Управление сложными задачами по разработке систем становится возможным благодаря непрерывному инжинирингу. Эта методология является новой философией разработки сложных технических систем и позволяет быстрее адаптироваться к ускорению темпов изменений за счет повторного использования ранее разработанных систем и элементов, предоставления совместного доступа к проектной документации в смежных областях и постоянной верификации как требований, так и проектных решений.

Для определения единой процедуры разработки сложных систем используется V-модель, которая направлена на упрощение понимания задач, связанных с разработкой составных частей систем, подсистем, компонентов [13]. В проекте с течением времени детализация решений возрастает при движении слева направо, а итерации выполняются по горизонтали между левой и правой сторонами буквы V (рис. 3). Внутри V-образной модели проводятся горизонтальные линии, показывающие, насколько результаты каждой из стадий разработки влияют на развитие системы тестирования.

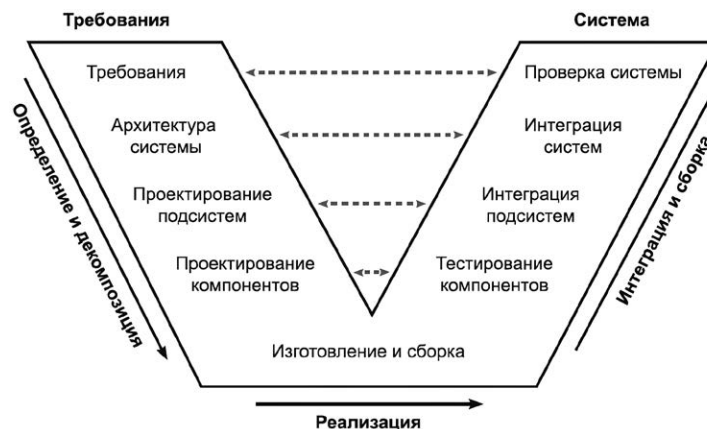


Рис. 3. V-модель системной инженерии [3, с. 63]  
Fig. 3. Systems Engineering V-Model [3, p. 63]

Охват жизненного цикла системы с момента ее проектирования, материализации и до момента ликвидации должен быть обеспечен технологией цифровых двойников, сущность которой подробно изложена в [3, 13]. Цифровой двойник системы, как ее виртуальная модель, которая развивается на всех этапах, представляет собой матрицу требований/целевых показателей и ресурсных (временных, финансовых, технологических, производственных, экологических и т. д.) ограничений. Профессор А. И. Боровков указывает, что данная матрица «предназначена для рациональной «балансировки» большого количества целевых характеристик как объекта в целом, так и его компонентов в отдельности, которые, как правило, конфликтуют между собой как на одном этапе, так и на разных стадиях жизненного цикла» [13].



Интеграция V-образной модели с методологией системной инженерии на основе моделей MBSE (Model-based system engineering) позволяет использовать ее цифровой двойник для валидации процесса создания системы при переходе с одного этапа на другой. Использование цифровых двойников дает возможность верифицировать работоспособность системы на базе испытаний ее виртуальной модели, не дожидаясь ее физического создания, а также оптимизировать ее параметры так, чтобы они соответствовали запросам потребителя системы и вписывались в имеющиеся ресурсные ограничения.

Проведенные исследования позволяют говорить о необходимости применения в ходе проектирования ПЛС методологии принятия решений, ориентированной на концепцию ликвидации потерь с целью достижения максимальной эффективности, которая приобрела массовую привлекательность [14]. Гибкий итеративно-инкрементальный подход к управлению проектами ориентирован на целевую аудиторию пользователей, динамическое формирование требований и обеспечение их реализации в результате постоянного взаимодействия внутри самоорганизующихся рабочих групп. Использование подхода Lean + Agile нацеливает на синхронизацию проектных работ в условиях неопределенности, что предусматривает активную разработку, параллельное проектирование и всеобщее обучение при тонком управлении и организации быстрой передачи знаний. В процессе создания ПЛС возможно применение сложных систем методик бережливых подходов Lean startup, Lean innovation и Lean product development (бережливые стартапы, инновации и разработка продукта). Однако процесс проектирования, создания или обновления ПЛС, в том числе за счет цифровизации ее процессов и элементов, должен быть не только бережливым, но и гибким (Agile). Разработку проектных решений по ЦТ ПЛС можно разделить на шесть последовательных этапов с обратной связью, как показано на рис. 4.

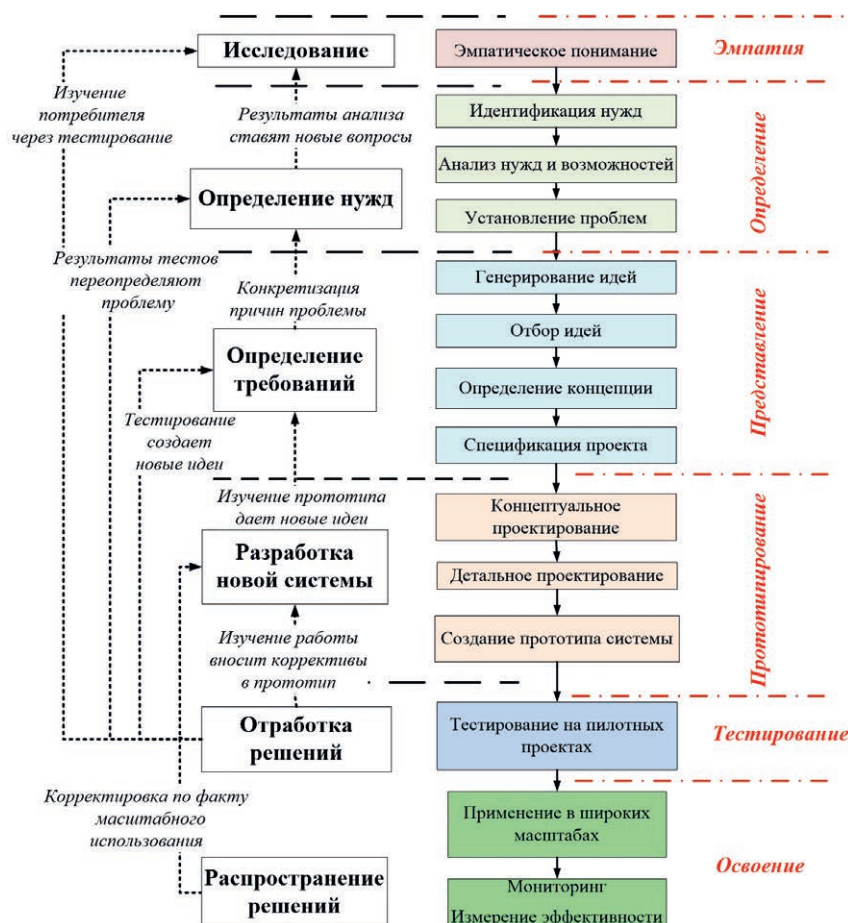


Рис. 4. Основные этапы разработки проектных решений по цифровой трансформации производственно-логистической системы (Собственная разработка [5])

Fig. 4. The main stages of the design solutions development for the digital transformation of the production and logistics system (The author's own development [5])

Определено, что подход Lean + Agile должен включать в себя наиболее эффективные методы и технологии управления, такие как эффективное управление воронками инноваций (Effective pipeline management), вытягивающее планирование (Pull scheduling), бережливый процесс пересмотра требований к инновациям на каждом этапе (Lean gate review process), минимизация мультизадачности (Minimize multitasking), планирование проектов, основанное на командной работе (Team-based project planning), управление проектами, основанное на концепции критической цепочки (Critical chain project management), проактивное управление рисками (Proactive risk management) [5]. Этот подход позволяет вести разработку короткими циклами, после каждого этапа осуществлять возврат на предыдущий для изменений. Элементы и прототипы системы быстро тестируются в реальных условиях на тестовых площадках (цифровых песочницах) с сохранением понравившейся версии системы и внесением новых требований в проект.

### Заключение

1. Раскрыто содержание комплексной программы цифровой трансформации производственно-логистических систем. С позиций системного инжиниринга представлены этапы разработки комплексной программы, выделены основные процессы и документы. Применение предлагаемой программы позволит осуществлять разработку стратегических и тактических планов трансформации, управление отдельными проектами и их совокупностью.

2. Функциями управления цифровой трансформации производственно-логистических систем являются проектирование, организация, осуществление изменений, освоение новых технологий в промышленных масштабах и оценка достигнутых значений целевых показателей. Предложен алгоритм разработки проектных решений по цифровой трансформации производственно-логистической системы, который отличается применением гибкого (Agile) и бережливого (Lean) подходов, механизма непрерывного инжиниринга, процедур верификации решений и валидации процесса создания системы при переходе с одного этапа на другой с применением цифровых двойников систем.

### Список литературы

1. Ковалев, М. М. Цифровая экономика – шанс для Беларуси / М. М. Ковалев, Г. Г. Головенчик. Минск: Изд. центр БГУ, 2018.
2. Данильченко, А. В. Цифровая трансформация обрабатывающей промышленности Республики Беларусь: тенденции и перспективы развития / А. В. Данильченко, И. А. Зубрицкая, К. В. Якушенко. Минск: Право и экономика, 2019.
3. Прохоров, А. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт / А. Прохоров. М.: АльянсПринт, 2019. <https://dfnc.ru/wp-content/uploads/2020/09/Kniga-TSfirovoj-dvojn timer.pdf>.
4. Мясникова, О. В. Развитие логистических систем в условиях цифровой трансформации бизнеса / О. В. Мясникова. Минск: Колоград, 2019.
5. Мясникова, О. В. Развитие производственно-логистических систем: теория, методология и механизмы цифровой трансформации / О. В. Мясникова. Минск: Институт бизнеса БГУ, 2021.
6. Мясникова, О. В. Цифровая трансформация в решении задач развития производственно-логистических систем / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика. 2019. № 3. С. 196–201.
7. Мясникова, О. В. Развитие производственно-логистических систем: возможности, угрозы и препятствия цифровой трансформации / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. 2019. Т. 5, № 1. С. 31–36.
8. Мясникова, О. В. Теоретико-концептуальные подходы к формированию производственно-логистической системы «Умного производства» как социо-киберфизической системы / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. 2020. Т. 7, № 1. С. 29–35.
9. Мясникова, О. В. Концепция цифровой трансформации производственно-логистических систем в условиях перехода к цифровой экономике / О. В. Мясникова // Экономика. Управление. Инновации. 2020. Т. 8, № 2. С. 46–52.
10. Мясникова, О. В. Принципы формирования производственно-логистических систем в условиях цифровой трансформации экономики / О. В. Мясникова // Бизнес. Инновации. Экономика. 2020. № 4. С. 178–185.
11. Круглов, М. Г. Анализ архитектуры (принципов построения) системы управления жизненным циклом военной продукции в США [Электронный ресурс] / М. Г. Круглов. Режим доступа: [https://www.centriprioritet.ru/images/stories/25Conf/17\\_02\\_Kruglov.pdf](https://www.centriprioritet.ru/images/stories/25Conf/17_02_Kruglov.pdf). Дата доступа: 20.04.2018.
12. Сычев, В. А. Процессы и стандарты системного инжиниринга / В. А. Сычев // Интернаука. 2018. Т. 62, № 28. С. 32–35.

13. Боровков, А. И. Цифровые двойники и цифровые тени в высокотехнологичной промышленности [Электронный ресурс] / А. И. Боровков. Режим доступа: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/197616357>. Дата доступа: 28.05.2020.
14. Cooper, B. What is Lean Innovation? Components and Examples [Electronic Resource]. Mode of access: <https://movestheneedle.com/lean-innovation/what-is-lean-innovation-components-and-examples/>. Date of access: 28.09.2018.

### References

1. Kovalev M. M., Golovenchik G. G. (2018) *The Digital Economy is a Chance for Belarus*. Minsk, Publishing Center of the Belarusian State University (in Russian).
2. Danilchenko A. V., Zubritskaya I. A., Yakushenko K. V. (2019) *Digital Transformation of the Manufacturing Industry of the Republic of Belarus: Trends and Prospects for Development*. Minsk, Law and Economics Publ. (in Russian).
3. Prokhorov A. (2019) *Digital Transformation. Analysis, Trends, World Experience*. Moscow, AlliancePrint Publ. <https://dfnc.ru/wp-content/uploads/2020/09/Kniga-TSfirovoj-dvojniki.pdf> (in Russian).
4. Miasnikova O. V. (2019) *The Logistics Systems Development in Times of Business Digital Transformation*. Minsk, Kolograd (in Russian).
5. Miasnikova O. V. (2021) *Development of Production and Logistics Systems: Theory, Methodology and Mechanisms of Digital Transformation*. Minsk, School of Business of Belarusian State University (in Russian).
6. Miasnikova O. V. (2019) Digital Transformation in the Solution of Development Problems of Production and Logistics Systems. *Business. Innovations. Economics*. (3), 196–201 (in Russian).
7. Miasnikova O. V. (2019) The Development of Production and Logistics Systems: Opportunities, Threats and Obstacles to Digital Transformation. *Economics. Management. Innovations*. 5 (1), 31–36 (in Russian).
8. Miasnikova O. V. (2020) Theoretical and Conceptual Approaches to the Formation of the Production-Logistics System of Smart Manufacturing as a Sociocyberphysical System. *Economics. Management. Innovations*. 7 (1), 29–35 (in Russian).
9. Miasnikova O. V. (2020) The Concept of Production-Logistics Systems Formation in Transition to Digital Economy. *Economics. Management. Innovations*. 8 (2), 46–52 (in Russian).
10. Miasnikova O. V. (2020) Principles of Production and Logistics Systems Forming in the Conditions of Economy Digital Transformation. *Business. Innovations. Economics*. (4), 178–185 (in Russian).
11. Kruglov M. G. (2018) *Analysis of Architecture (Principles of Construction) of the System of Management of the Life Cycle of Military Products in the USA*. Available: <http://docplayer.ru/51589099-Analiz-arhitektury-principov-postroeniya-sistemy-upravleniya-zhiznennym-ciklom-voennoy-produkcii-v-ssha.html> (Accessed 20 April 2018) (in Russian).
12. Sychev V. A. (2018) Processes and Standards of System Engineering. *Interscience*. 28 (62), 32–35 (in Russian).
13. Borovkov A. I. (2020) *Digital Twins and Digital Shadows in a High-Tech Industry*. Available: <https://4science.ru/articles/Cifrovie-dvojniki-i-cifrovie-teni-visokotekhnologichnoi-promishlennosti> (Accessed 28 May 2020) (in Russian).
14. Cooper B. (2018) *What is Lean Innovation? Components and Examples*. Available: <https://www.moves-theneedle.com/all-blog/2018/8/14/what-is-lean-innovation-components-and-examples> (Accessed 28 September 2018).

### Сведения об авторе

**Мясникова О. В.**, к. э. н., доцент, доцент кафедры логистики Институт бизнеса Белорусского государственного университета.

### Адрес для корреспонденции

220004, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Обойная, 7  
Институт бизнеса  
Белорусского государственного университета  
E-mail: [miasnikovaov1@gmail.com](mailto:miasnikovaov1@gmail.com)  
Мясникова Ольга Вячеславовна

### Information about the author

**Miasnikova O. V.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Logistics of School of Business of Belarusian State University.

### Address for correspondence

220004, Republic of Belarus,  
Minsk, Oboynaya St., 7  
School of Business  
of Belarusian State University  
E-mail: [miasnikovaov1@gmail.com](mailto:miasnikovaov1@gmail.com)  
Miasnikova Olga Vyacheslavovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-28-35>

Оригинальная статья  
*Original paper*

УДК 004.75:336.74

## ТЕХНОЛОГИЯ БЛОКЧЕЙН В РЕКЛАМНЫХ КАМПАНИЯХ

А. А. ЕФРЕМОВ, К. С. ГЕРАЩЕНКО, М. Н. САЛАПУРА

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

*Поступила в редакцию 23.06.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Статья посвящена особенностям технологии блокчейн с точки зрения ее применения в экономике. Отмечено влияние этой технологии на рынок рекламы. Выявлены основные особенности и задачи блокчейн-систем, проанализированы действия крупных компаний по их внедрению. Рассмотрена актуальность объекта исследования, продиктованная возрастающей ролью криптовалютных активов и процессов в современном мире. Изучена технология блокчейн, приведено экономическое обоснование внедрения ее в рекламные кампании как средства совершенствования процесса информационной коммуникации. Проанализированы особенности функционирования систем, связанных с криптовалютами, а также плюсы и минусы технологии децентрализованного хранения данных. Описаны основные проблемы, возникающие при использовании технологии блокчейн, предложены пути их решения. Уточнены определения ряда категорий предметной области. Даны рекомендации для эффективного функционирования рекламных кампаний в сфере digital-маркетинга.

**Ключевые слова:** блокчейн, биткоин, хеширование, криптовалюта, токен, технология, реклама, хеш, смарт-контракт, база данных.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Ефремов А. А., Геращенко К. С., Салапура М. Н. Технология блокчейн в рекламных кампаниях. *Цифровая трансформация*. 2022; 28 (4): 28–35.

## BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN ADVERTISING CAMPAIGNS

ANDREY A. EFREMOV, KSENIYA S. GERASHCHENKO, MARYNA N. SALAPURA

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

*Submitted 23.06.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** The article is devoted to the peculiarities of blockchain technology in terms of its application in the economy. The emphasis is on the impact of this technology on the advertising market. In the course of the study, the main features and tasks of blockchain systems were identified, as well as the actions of large companies on their implementation were analyzed. The consider the relevance of the research object, which is dictated by the ever-increasing role of cryptocurrency assets and processes in the modern world. The blockchain technology is studied, the economic justification of its introduction into the ongoing advertising campaigns as a means of improving the information communication process is given. The features of the functioning of systems related to cryptocurrencies, as well as the pros and cons of decentralized data storage technology are analyzed. The main problems

that arise when using blockchain technology are described and ways to solve them are proposed. The definitions of a number of categories of the subject area have been clarified. Recommendations are given for the effective functioning of advertising campaigns in the field of digital marketing.

**Keywords:** blockchain, bitcoin, hashing, cryptocurrency, token, technology, advertising, hash, smart contracts, database.

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

**For citation.** Efremov A. A., Gerashchenko K. S., Salapura M. N. Blockchain Technology in Advertising Campaigns. *Digital Transformation*. 2022; 28 (4): 28–35.

## Введение

Блокчейн представляет собой революционную технологию, которая стремительно развивается благодаря массовой цифровизации общественных процессов взаимодействия. Как немодифицируемый и невзламываемый реестр транзакций технология блокчейн была разработана чуть более десятка лет назад, а система Биткойн стала исторически первым и наиболее известным применением блокчейн-технологии. С тех пор область использования этой технологии значительно расширилась, и сейчас блокчейн применяется в таких областях, как торговая отчетность, безналичные расчеты, бухгалтерский учет, управление рисками, идентификация пользователей, финансовые операции, обеспечение кибербезопасности, комплаенс и др. Блокчейн-технологии актуальны в первую очередь для сферы финансов учреждений, государственных организаций, однако затрагивают и другие области экономики, в частности рынок рекламы. Блокчейн способен обеспечить инфраструктуру, позволяющую демонстрировать рекламу на базе индивидуальных предпочтений пользователя без сбора и анализа персональных данных, позволят сокращать затраты, породить приток потребителей с более низкой стоимостью привлечения. Для определения того, как технология блокчейн может использоваться в этих направлениях рекламной среды, необходимо четко представлять особенности внутреннего ее устройства и функционирования.

Блокчейн-технологии позволяют вести децентрализованный учет выполняемых операций. В цепи блокчейн каждое звено представляет собой отдельную транзакцию, видимую всеми участниками процесса, которую невозможно изменить после ее проведения. Блокчейн дает возможность обмена различными видами активов, создавая новый эффективный путь перемещения стоимостей без использования посредников [1, с. 12]. Нынешние возможности технологии блокчейн – это только промежуточный этап. Постоянное совершенствование блокчейна открывает перспективы для его применения в новых и новых отраслях. В своем развитии любая технология должна преодолеть стадию недоверия со стороны тех, кто консервативен и не привык быстро меняться. Блокчейн уже прошел этот этап, и поэтому будет динамично развиваться в ближайшем будущем [2, с. 259].

С каждым годом технология блокчейн, как распределенная база данных, вовлекает все большее количество участников, заинтересованных в безопасной и эффективной деятельности в глобальной сети интернет, которая наполнена огромными массивами разнообразной информации, хранящейся в базах данных, списках, каталогах, доступных определенному кругу лиц, отвечающих за хранение и достоверность ее использования. Блокчейн-технологии могут, например, держать под контролем корпоративные счета, редактировать записи в земельных кадастрах, вносить правки в коллективные списки. Чтобы ответственные за хранение такой информации лица не нарушали закон либо несли наказание за его несоблюдение, обществом созданы различные формы контроля и аудита. Благодаря блокчейн-технологиям такие хранители не нужны, хранение информации происходит у всех участников одновременно, без возможности сфальсифицировать информацию у всех. Доступ к общему информационному реестру есть в режиме реального времени или близком к нему у всех пользователей блокчейна, которые выступают в качестве «коллективного нотариуса», гарантирующего валидность имеющейся информации. Все заинтересованные стороны могут принимать участие в процессе использования и создания информации, даже те из них, кто раньше мог получать только стандартный отчет по завершении транзакции.

## Основные принципы технологии блокчейн

Действующим примером использования технологии блокчейн является криптовалюта биткоин, где данная технология дает следующий набор преимуществ:

- 1) наличие полной истории платежей каждого находящегося в обращении биткоина;
- 2) использование сверхсложного шифрования данных о зарегистрированной транзакции;
- 3) копии каждой транзакции рассылаются на все компьютеры («ноды») сети биткоинов, что дает любому участнику возможность криптографической верификации истории сделок и исключает изменение состояния реестра путем каких-либо махинаций. Изменения данных в цепочке блоков возможны только при подтверждении участниками легитимности транзакции в соответствии с общими правилами и протоколами.

Технология блокчейн может быть использована также как учетная запись человека. Всю необходимую информацию из этой учетной записи человек сможет предоставлять самостоятельно, и она не будет вызывать недоверия, поскольку любой, кому будет предоставлена эта информация, может быстро проверить ее достоверность. В этой учетной записи может храниться вся история действий человека: какие продукты он покупал, какие товары приобретал для своего хобби, на концерты какой группы покупал билет и т. д. Используя подобного рода информацию, можно формировать информативный рекламный контент. Блокчейн способен решить многие проблемы рекламодателей и существенно повысить эффективность рекламных кампаний на потребительских рынках. Целью использования технологии блокчейн является совершение доверительной передачи собственности на цифровые активы в недоверительной среде без посредников.

В работах французского ученого Л. Лорана отмечено, что идея блокчейна является довольно простой, но крайне мощной по причине своего новаторского подхода, который заключается не только в создании лучшей сети, банка или в обеспечении более качественного обслуживания. Интерес к блокчейну и его развитие в настоящее время претерпевают значительный рост, что зависит не только от его технических характеристик, но и от того, какие операции производят участники. Постепенно блокчейн встраивается в разработку, различного рода стартапы, IT-бизнес и т. п. Несомненно, блокчейн является одной из самых актуальных тем в финансовой сфере, на фондовых рынках, что дает основания ожидать роста скорости его использования широкой общественностью, которая потребует изменений, и, наконец, организациями, до этого не принимавшими такого рода изменения [3, с. 6].

М. Свон определяет, что технология блокчейн является главной инновацией биткоина, так как именно она служит механизмом верификации любых транзакций сети, «не требующих доверия» (trustless). Принципиальное новшество блокчейна состоит в архитектуре, поддерживающей децентрализованность транзакций. Следовательно, блокчейн может использоваться как средство регистрации, учета и обмена абсолютно любых финансовых, материальных и нематериальных активов [4, с. 14].

Блокчейн, представляя собой выстроенную по определенным правилам непрерывную последовательную цепочку блоков информации, гарантирует прочный, быстрый и доступный способ обслуживания обращений форм финансовых ресурсов. Данную технологию можно определить как электронный журнал, информационные данные которого доступны любому участнику, но работать с ним может только один. В традиционных же транзакциях, таких как денежные переводы или обмен валют, обычно присутствует посредник или центральный орган, который учитывает осуществляемые действия. В то время как в технологии блокчейн токен (единица учета) является носителем стоимости, которую определяет рынок. Именно это делает систему блокчейн децентрализованной площадкой обмена. Изначально блокчейн-технологии предполагали полную свободу и независимость цепи, в которой нет единого администратора. Однако действия со стороны крупных компаний и финансовых институтов привели к появлению более централизованных форм блокчейна, когда при сохранении распределенной информации присутствует централизованная система контроля.

## Механизм функционирования блокчейн-систем

Для нормальной работы сети передачи данных без посредников в ней должны создаваться новые блоки. Когда транзакция совершена, запись об этом появляется повсеместно на миллионах

распределенных компьютеров. При формировании записи обязательно используется процесс хеширования данных, что позволяет преобразовывать любую информацию об операции по определенному алгоритму для получения на выходе шифрованной информации фиксированной длины с лавинообразным эффектом попытки модификации. Хеш вычисляется быстро и всегда уникален для каждого набора данных, при самом незначительном изменении входной информации ее хеш полностью меняется. Хеш-функция необратима и не позволяет восстанавливать исходный массив информации из хеша. Это можно сделать, только перебрав все возможные варианты, что при бесконечном количестве информации требует значительных затрат времени и денег. В технологии блокчейн хеширование гарантирует неизменность и необратимость цепи операций и защищает систему от взлома, благодаря чему блокчейн отличается криптографической надежностью хранимых данных.

При установлении нужного значения, его добавлении в блокчейн и передаче в хеш-функцию выстраивается рандомный хеш – случайный набор букв, цифр и знаков, в котором понять что-либо не представляется возможным. В блокчейне хеш всегда состоит из 64 символов, несмотря на объем и размеры содержания входного блока. Хеш представляет так называемое решение задачи. Угадавший его компьютер получает «приз» – криптовалюту биткоин. Затем блок соединяется с предыдущими более ранними блоками, создавая цепочку блоков. Блоки привязаны к временным характеристикам. Крайне трудно нарушить целостность системы, работа которой организована с использованием криптографической хеш-функции. Для этого понадобятся огромные вычислительные мощности и большой объем времени. С добавлением каждого нового блока в систему ее устойчивость к атакам значительно возрастает. Технология блокчейн по уровню надежности хранения информации многократно превосходит все другие известные сегодня системы защиты информации, при этом сделав данные более доступными и прозрачными, что может существенно снижать затраты и минимизировать время решения проблем и устранения ошибок.

Одно из требований к хеш-коду – его уникальность, что позволяет найти хеш только методом подбора чисел, который будет достаточно сложным, долгим и трудоемким. Конечно, разные криптовалюты, являющиеся интернет-средством обмена, используют различные модели криптографических вычислений, однако все они достаточно длительны по времени и сложны в поиске решения, что обеспечивается хеш-функцией. Сложность процесса состоит в том, что необходимый шифр можно найти, только перебрав неограниченное количество всевозможных вариантов, поэтому система будет требовать огромные вычислительные мощности для создания и хранения всех возможных вариантов перебора. Также важной особенностью криптовалют является то, что их использование не контролируется каким-либо надзорным органом.

Безопасность, прозрачность и неизменность данных – ключевые критерии для разработки решений на основе технологии блокчейн. Рекламная индустрия является той сферой, в которой интерес к блокчейну только растет [5, с. 217].

### **Блокчейн для применения умных контрактов**

Сравнивая рынок рекламы сегодня и всего пять лет назад, можно сказать, что сейчас появляется больше исследований и схем создания контента, больше способов связи с пользователями. Но под напором ботов и мошенников традиционный контент теряет свою значимость из-за несовершенства традиционной цепи его поставки.

Большая доля цифровой рекламы сосредоточена в руках крупнейших мировых рекламных компаний. Последние несколько десятилетий мировой рекламный рынок контролируют пять крупнейших рекламных групп:

- WPP Group, London (\$19.0 млрд/год);
- Omnicom Group, New York City (\$15.3 млрд/год);
- Publicis Groupe, Paris (\$9.6 млрд/год);
- Interpublic Group, New York City (\$7.5 млрд/год);
- Dentsu, Tokyo (\$6.0 млрд/год).

С постоянным ростом доли их влияния на рынке цифровой рекламы увеличивается и ее стоимость. Все большее количество данных о пользователях сосредотачивается в руках мировых рекламных гигантов, что позволяет им не только владеть информацией о предпочтениях потре-

бителей, но и выгодно продавать их рекламодателям.<sup>1</sup> Применяя блокчейн-технологии для осуществления рекламных сделок, владельцы данных могут безопасно обмениваться своими активами без их экспорта или передачи промежуточным заинтересованным сторонам. Мощнейшим свойством блокчейна, как утверждает СТО группы Media & Entertainment компании IBM П. Гуглимино, является возможность его применения в сетях, где есть недоверие между заинтересованными сторонами [6].

Существует также проблема мошенничества в рекламной индустрии, с чем сталкиваются пользователи, рекламодатели и организаторы рекламных площадок. Схемы по перехвату трафика или краже сведений у рекламодателей и пользователей наносят огромный ущерб всей рекламной индустрии. Решением проблем мошенничества могут стать смарт-контракты, которые описывают все условия обеспечения доступа к применяемым средствам. Смарт-контракты также представляют собой одно из наиболее перспективных направлений при использовании криптовалют. Под смарт-контрактом понимается компьютерный протокол, применяемый для облегчения и автоматизации финансовых операций. Две функции биткоина, помогающие реализовать смарт-контракты, – это время блокировки транзакции и версии ввода. Оба эти поля используются для определения того, является ли рассматриваемая транзакция окончательной. В настоящее время неокончателные транзакции не распространяются на сеть. Тем не менее они полезны для создания и обновления смарт-контрактов.

А. Вашкевич трактует смарт-контракт как компьютерную программу, связанную с исполнением обязательств. У нее две основные функции: смарт-контракт либо непосредственно исполняет, либо отслеживает исполнение (нарушение) воли, согласованной в сделке [7, с. 15].

### **Решения, которые делают блокчейн эффективнее**

Несмотря на то что технология блокчейн способна кардинально преобразовать устоявшиеся бизнес-процессы и радикально изменить работу регуляторов, она является экспериментальной и имеет ряд недостатков. Так, чем больше участников появляется в сети, тем медленнее сеть работает. Но для функционирования блокчейна необходимо большое количество пользователей, без них технология просто не будет работать. Из-за того, что в системе с каждым днем все больше и больше блоков, база перегружается, и скорость переводов значительно снижается, вероятность системных сбоев увеличивается. Кроме того, информация в блокчейне публична. Пока данное направление пользуется популярностью у узкого круга лиц, тогда как доверие со стороны широкой общественности отсутствует. Уменьшение доверия может негативно сказаться на стоимости криптовалют и, как следствие, развитии блокчейн-технологий. С каждым годом работы сети блокчейн процесс искусственного уменьшения добываемых монет позволяет исключить инфляцию и создать дефицит криптовалюты, что приводит к пропорциональному увеличению цены биткоина. Также существует проблема, что современный пользователь стал слишком неактивным. Рынок перенасыщен удобными сервисами с интуитивно понятными и эффективными интерфейсами взаимодействия. За относительно небольшой промежуток времени пользователю сложно полноценно разобраться в криптовалюте, в создании кошелька, поэтому еще долгое время банковская карта будет наиболее распространенным инструментом перевода денежных средств и оплаты товаров и услуг.

Аналогичная ситуация складывается и с рекламной средой на базе блокчейна. Даже если будет предложено нечто революционное, маркетологи и рекламодатели не ринутся сразу учиться новому и поддерживать многообещающий стартап. Процент стартапов, внедряющих использование технологии блокчейн, которые терпят крах, высок не потому, что технология блокчейн – плохая идея, а потому, что всегда находится немалое число конкурентов. Все они не могут выжить. Но у тех, кто будет следовать принципам Сатоси, больше шансов по сравнению с теми, кто их проигнорирует [8, с. 52].

Необходимо задуматься о внедрении стартапов и об обучении большего числа специалистов, отвечающих за рекламу товаров и услуг, новым технологиям, отказываясь от традиционного механизма обычной скупки рекламы через посредников без защиты данных и без возможности сокращения числа ботов среди потенциальных пользователей. Стоит заложить фундамент для того,

<sup>1</sup> Блокчейн в рекламной индустрии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://3commas.io/ru/blog/blokchejn-v-reklamnoj-industrii>. Дата доступа: 15.10.2021.



чтобы компании могли прокладывать дальнейший путь развития самостоятельно. Возможно, блокчейну удастся сделать то, чего не удалось добиться интернету: большей гуманизации, свободы и доверия, идущих из самых основ этой технологии, и постепенно ввести современный бизнес в мир викиномики (где действуют сообще) и трастономики (доверия). С момента изобретения биткоина прошло всего 15 лет, но многие успели убедиться в перспективности технологии блокчейн. Криптовалюта оказывает немалое влияние не только на цифровую экономику в целом, но и на рекламный рынок в частности.

По пропускной способности блокчейн пока сильно отстает от Google. Блокчейн-система Ethereum, использующая смарт-контракты, обрабатывает в среднем 20 операций в секунду. Смарт-контракты на основе Ethereum автоматически решают обе эти проблемы. В то время как биткоин может выполнять простые смарт-контракты через кошельки с мультиподписью, реализация Ethereum намного мощнее и надежнее [9, с. 64].

Рассмотрим небольшую рекламную компанию, внедряющую технологию блокчейн, что, несомненно, представляет собой сложный процесс, так как основная идея технологии предполагает наличие распределенного реестра или базы данных, запущенной одновременно на множестве между различными пользователями и подразделениями. Компании не придется тратить большие суммы на закупку рекламы у крупных поставщиков, таких как Google или Facebook. Кроме того, не придется работать с посредниками и отдавать им определенный процент за закупку рекламы. Посредником будет выступать блокчейн. Также будет предусмотрена защита клиента от недобросовестного использования его личных данных. Все пользователи сети будут сохранять анонимность и будет предусмотрен точный таргетинг для рекламодателя, который оплатит клики только реальных целевых пользователей, а не ботов. Сейчас же в цифровой рекламе имеется много узких мест для мошенников, что, согласно ежегодному докладу центра Imperva Incapsula Bot Traffic Report, приводит к генерации трафика ботами на уровне 50 % и потерям рекламодателями из-за этого более 7 млрд дол. США. Внедрение технологии блокчейн нанесет крупный ущерб компаниям-гигантам, которые потеряют значительную часть своих клиентов, что, безусловно, невыгодно, и, скорее всего, приведет к попытке его ликвидации, например, скупая стартапы, разработанные для внедрения блокчейна в рекламную сферу.

### **Блокчейн на рынке рекламы**

Технология блокчейн значительно меняет всю маркетинговую и рекламную экосистему. Сферы рекламы, в которых развивается блокчейн:

- интеграция big data с блокчейном открывает доступ к детализированной информации о потребителях, их предпочтениях и т. п. при сохранении персональных данных;
- совершенствование закупок рекламы, в том числе programmatic. Блокчейн позволит стандартизировать рекламные контракты и сделать их более прозрачными, поскольку даже в programmatic-закупках возникает вопрос качества трафика;
- взаимодействие клиента и агентства: хранение данных о проделанных работах в блокчейне, транзакциях, подтверждение результатов рекламных кампаний и т. п.

Блокчейн – это единственное на данный момент решение для формирования общего набора данных и общего языка, которому могут доверять все участники Adtech-экосистемы. Говоря о ближайших двух-трех годах, блокчейн – это идеальное средство верификации programmatic-закупок, так как все легко и быстро проверяется. Если же смотреть в перспективе на 10–15 лет, то технологии блокчейн изменят все маркетинговые инструменты, связанные с данными, – от программ лояльности до программируемых закупок. Они станут проще, точнее и защищеннее от человеческой ошибки. Блокчейн – однозначно прогрессивное направление развития рынка рекламы. Если можно создать цифровую идентичность с помощью цифровых и виртуальных следов, которые предоставляют намного больше данных и точнее их характеризуют, уменьшая вероятность ошибки или мошенничества, то это значительное движение вперед.

### **Заключение**

1. Внедрение блокчейн-технологий в рекламные кампании во многом зависит от обучаемости людей и действий крупных игроков мирового рынка рекламы. Сфера информационных технологий отличается стремительным развитием, и для соблюдения конфиденциальности в сети

интернет, гарантии защиты от утечек информации необходимо внедрять блокчейн-технологии. В то же время компаниям стоит сконцентрироваться на вопросах кибербезопасности, что также неразрывно связано с использованием блокчейна. Сфера применения блокчейна с каждым годом значительно расширяется: торговля, документооборот, бизнес. Плюсы системы блокчейн позволяют говорить о том, что ее выход на лидирующие позиции – будущее сферы информационных технологий. Блокчейн позволяет устранить посредников при совершении финансовых сделок и исключить обман со стороны плательщика и получателя.

2. Наиболее интересным и перспективным видится совершенствование programmatic-закупок с помощью блокчейна. Это может вывести на принципиально новый уровень прозрачность по формированию цены и по качеству размещения. Можно будет видеть, сколько денег из бюджета рекламодателя дошло в конце концов до сайта, и каждый показ, открученный сайтом из рекламной сети, может быть легко подписан этим сайтом (показ произошел, какой уровень видимости и т. д.). Так устраняется возможность манипулировать данными по размещениям на стороне рекламных сетей.

3. Вопрос использования блокчейн-технологии при взаимодействии клиента и рекламного агентства имеет два аспекта. С одной стороны, применение смарт-контрактов способно существенно упростить взаимодействие, так как они могут обеспечивать прозрачность системы закупок и системы выполнения планов и реализации бюджетов. С другой, основная идея внедрения данной технологии куда-либо основана на том, чтобы за счет блокчейна и смарт-контрактов на нем исключить «третью» сторону. По своей сути, это программа, которую можно научить выполнять любые действия, а, значит, она способна заменить функции одной из сторон, являющиеся с этой точки зрения избыточными. В связке «клиент – рекламное агентство» это сделать довольно сложно, поскольку невозможно обойтись без рекламного инвентаря площадок. И пока эти стороны не будут в одном блокчейне, эффективность такого внедрения будет минимальна.

4. Проекты, которые внедряют сейчас блокчейн в рекламные рынки, имеют цели, отличные от целей рекламного агентства. Зачастую эти проекты вообще исключают агентство, поскольку рассчитывают на создание платформы в связке «клиент – площадка». А значит, все метрики и данные, собираемые проектом, передаются клиенту для более точного таргетинга, после чего идет непосредственное подключение площадок через систему, где площадка получает деньги напрямую от клиента, так как его деньги уже заморожены на смарт-контракте и автоматически перечисляются при соблюдении тех или иных условий, прописанных в данном контракте. При этом большой потенциал для внутреннего использования в рамках агентства имеет интеграция блокчейна и big data в digital-рекламе. Это дает быстрый и безопасный доступ к «неизменяемым» данным, что повышает качество и продуктивность работы. В совокупности два этих инструмента позволяют выйти на новый уровень обработки данных, что существенно увеличит скорость и точность получения нужных и правильных результатов.

### Список литературы

1. Поппер, Н. Цифровое золото: невероятная история Биткойна / Н. Поппер. Душанбе: Вильямс, 2019.
2. Койфманн, Я. Блокчейн на практике / Я. Койфманн, А. Табернакулов. М.: Альпина Паблишер, 2019.
3. Лоран, Л. Блокчейн от А до Я. Все о технологии десятилетия / Л. Лоран. Франция: Бомбора, 2018.
4. Свон, М. Блокчейн. Схема новой экономики / М. Свон. М.: Олимп-бизнес, 2017.
5. Полански, А. Эра криптовалюты / А. Полански. М.: Изд-во АСТ, 2019.
6. A Guide to Blockchain for a Marketer [Electronic Resource] / N. Suvorov [et al.]. Access mode: <https://www.pvsm.ru/marketing/270299>. Access date: 15.10.2021.
7. Вашкевич, А. М. Смарт-контракты: что, зачем и как / А. М. Вашкевич. М., 2018.
8. Тапскотт, Д. Технология блокчейн: то, что движет финансовой революцией сегодня / Д. Тапскотт, А. Тапскотт. М.: Эксмо, 2017.
9. Винья, П. Машина правды. Блокчейн и будущее человечества / П. Винья, М. Кейси. М.: Изд-во Манн, Иванов и Фербер, 2018.

### References

1. Popper N. (2019) *Digital Gold: the Incredible History of Bitcoin*. Dushanbe, Williams.
2. Koifmann Ya., Tabernakulov A. (2019) *Blockchain in Practice*. Moscow, Alpina Publisher.

3. Laurent L. (2018) *Blockchain from A to Z. All about the Technology of the Decade*. France, Bombora.
4. Swan M. (2017) *Blockchain. Scheme of the New Economy*. Moscow, Olympus-Business Publ.
5. Polanski A. (2019) *The Era of Cryptocurrency*. Moscow, LLC "AST Publishing House".
6. Suvorov N. [et al.] (2021) *A Guide to Blockchain for a Marketer*. Available: <https://www.pvsm.ru/marketing/270299> (Accessed 15 October 2021).
7. Vashkevich A. M. (2018) *Smart Contracts: What, Why and How*. Moscow.
8. Tapscott D., Tapscott A. (2017) *Blockchain Technology: What Drives the Financial Revolution Today*. Moscow, Eksmo Publ.
9. Vigna P., Casey M. (2018) *The Machine of Truth. Blockchain and the Future of Humanity*. Moscow, Publishing House Mann, Ivanov and Ferber.

### Вклад авторов

Ефремов А. А. осуществил постановку задачи для проведения исследования, подготовил основу рукописи статьи.

Геращенко К. С. подготовила рукопись статьи, провела исследование литературных источников, выполнила исследования по маркетинговым компаниям.

Салапура М. Н. подготовила рукопись статьи, провела исследование литературных источников, провела анализ технологий.

### Authors' contribution

Efremov A. A. carried out the formulation of the task for the study, prepared the basis of the manuscript of the article.

Gerashchenko K. S. prepared the manuscript of the article, conducted a study of literary sources, conducted research on marketing companies.

Salapura M. N. prepared the manuscript of the article, conducted a study of literary sources, conducted an analysis of technologies.

### Сведения об авторах

**Ефремов А. А.**, к. э. н., доцент, заведующий кафедрой экономической информатики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Геращенко К. С.**, студент Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Салапура М. Н.**, магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры экономической информатики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Адрес для корреспонденции

220005, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Платонова, 39  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Тел. +375 17 293-89-92  
E-mail: [marinasalapura@gmail.com](mailto:marinasalapura@gmail.com)  
Салапура Марина Николаевна

### Information about the authors

**Efremov A. A.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Economic Informatics of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Gerashchenko K. S.**, Student at the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Salapura M. N.**, Master's Student, Senior Lecturer at the Department of Economic Informatics of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

### Address for correspondence

220005, Republic of Belarus,  
Minsk, Platonova St., 39  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
Tel. +375 17 293-89-92  
E-mail: [marinasalapura@gmail.com](mailto:marinasalapura@gmail.com)  
Salapura Maryna Nikolaevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-36-42>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 330.322.3

## ИНВЕСТИЦИИ В МАЙНИНГ КРИПТОВАЛЮТЫ НА ПРИМЕРЕ БИТКОИНА

Е. Н. КОСТЮКОВА

*Институт бизнеса Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 31.08.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Развитие научно-технического прогресса способствовало формированию так называемой цифровой экономики. Преобразования затронули в том числе валютно-финансовую и инвестиционную сферы. Возникновение биткоина и других криптовалют расширило перечень инвестиционных активов. Сегодня актуальны не только самостоятельное инвестирование, но и цифровые инвестиционные решения. Среди современных разновидностей инвестиций – инвестиции в майнинг криптовалюты. В статье рассмотрены инвестиции в майнинг одной из наиболее известных криптовалют – биткоина. Показаны различия между цифровой и криптовалютой, представлены ключевые источники криптовалюты, основное внимание уделено майнингу. В процессе исследований определена доходность майнинга биткоина и выполнено сравнение доходности от инвестиций в майнинг биткоина с доходностью от инвестирования аналогичной суммы в банковский депозит.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, криптовалюта, биткоин, майнинг, инвестиция.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Костюкова Е. Н. Инвестиции в майнинг криптовалюты на примере биткоина. *Цифровая трансформация*. 2022; 28 (4): 36–42.

## INVESTING IN CRYPTOCURRENCY MINING ON THE EXAMPLE OF BITCOIN

HELENA N. KOSTUKOVA

*Business Institute of Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 31.08.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** The development of scientific and technological progress contributed to the formation of the so-called digital economy. The transformations affected, among other things, the monetary, financial and investment spheres. The emergence of bitcoin and other cryptocurrencies has expanded the list of investment assets. Today, not only independent investment is relevant, but also digital investment solutions are to be taken into account. One of the modern types of investments is investments in cryptocurrency mining. This article examines investments in the mining of one of the most famous cryptocurrencies - bitcoin. The difference between digital and cryptocurrency is clarified, the main sources of cryptocurrency are considered, the main attention is paid to mining. The study determines the profitability of bitcoin mining and compares the profitability of investing in bitcoin mining with the profitability of investing a similar amount of resources in a bank deposit.

**Keywords:** digital economy, cryptocurrency, bitcoin, mining, investment.

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

**For citation.** Kostukova H. N. Investing in Cryptocurrency Mining on the Example of Bitcoin. *Digital Transformation*. 2022; 28 (4): 36–42.

## Введение

В экономической науке исследованию инвестиций посвящены многочисленные труды отечественных и зарубежных ученых, которые дают разнообразные трактовки данного понятия. Вообще термин «инвестиция» происходит от латинского слова «invest», что в переводе означает «вкладывать». В наиболее широком понятии инвестиции представляют собой вложения с целью последующего их увеличения [1, с. 22; 2, с. 1]. При этом прирост средств должен быть достаточным для того, чтобы возместить стоимость вложений, компенсировать инвестору отказ от их использования на потребление в текущем периоде, вознаградить его за риск. В этой связи одним из движущих мотивов осуществления инвестиций является получаемая от них прибыль.

По мере развития научно-технического прогресса трансформационные преобразования способствовали формированию так называемой цифровой экономики. Существуют различные подходы к толкованию данного термина. Если следовать одному из них, то цифровой является экономика, функционирующая в условиях гибридного мира, представляющего собой результат слияния реального и виртуального миров, и характеризующая возможностью совершения основных необходимых действий в реальном мире с помощью мира виртуального [3].

Неудивительно, что преобразования затронули и инвестиционную сферу, сделав популярными не только самостоятельное инвестирование, но и цифровые инвестиционные решения. Одним из современных видов инвестиций являются инвестиции в майнинг криптовалюты. В статье приведены исследования по определению доходности таких инвестиций на примере биткоина.

## Методика проведения эксперимента и его результаты

Для определения доходности инвестиций в майнинг биткоина рассматривали майнинг-ферму, состоящую из четырех видеокарт. Период исследования – 12 мес. Определяли процент покрытия суммы инвестирования доходами от майнинга. Для сравнения в качестве альтернативного варианта инвестирования использовался банковский депозит как в белорусских рублях, так и в долларах США за рассматриваемый период.

Следует уточнить, как соотносятся между собой цифровая и криптовалюта. Цифровая валюта представляет совокупность электронных данных, которые содержатся в информационной системе и могут быть приняты в качестве средства платежа или инвестиций. Среди цифровых валют существуют такие, как «Яндекс.Деньги», WebMoney и др. Под криптовалютой понимают вид цифровой валюты, основанный на надежных механизмах шифрования – криптографии. Таким образом, из представленных определений понятно, что криптовалюта является разновидностью цифровой. При этом между ними есть ряд различий<sup>1</sup>, приведенных в табл. 1.

**Таблица 1.** Характеристики цифровой валюты и криптовалюты  
**Table 1.** Characteristics of digital currency and cryptocurrency

Критерий / Criterion	Цифровая валюта / Digital currency	Криптовалюта / Cryptocurrency
Структура	Централизована	Децентрализована
Анонимность	Требуется идентификация	Более анонимна, идентификация зачастую не требуется
Прозрачность	Непрозрачна, в ней нельзя посмотреть информацию о денежных переводах других участников по адресу их кошелька	Прозрачна, в ней транзакции пользователей заносятся в публичную цепочку блоков – блокчейн
Управление	Имеется центральный орган, занимающийся отменой транзакций, заморозкой кошельков и др.	Регулируется криптосообществом, которое одобряет изменения в реестре
Правовая база	Статусы цифровых валют определяются в законодательстве многих стран	Статус криптовалют отсутствует в законодательстве большинства стран
Объем эмиссии	Не ограничен	Обычно изначально закладывается ограниченное количество выпуска валюты

*Примечание* – Таблица составлена автором на основе эл. ресурса (<http://mtblog.mtbank.by/chto-takoe-kriptovalyuta-i-kak-ee-zarobotat-razvernutyj-putevoditel-v-voprosah-i-otvetah/>). Дата доступа: 09.08.2022.

<sup>1</sup> Разница между криптовалютой и цифровой валютой [Электронный ресурс] // Polygant. Режим доступа: <https://polygant.net/ru/blog/raznitsa-mezhdu-kriptovalyutoj-tsifrovoj-valyutoj/>.

Таким образом, если в традиционных цифровых системах данные хранятся на централизованном сервере, то в случае криптовалют – они децентрализованы. Поскольку криптовалюта основана на децентрализованной блокчейн-технологии, это делает невозможным непосредственное регулирование собственно криптовалюты. При этом к государственному регулированию относятся те сферы, в которых криптовалюты соприкасаются с фиатными деньгами (криптовалютные биржи, обменные пункты и др.), а также сфера расчетов криптовалютами за товары и услуги.

Криптовалюты не подвержены инфляционным процессам, поскольку обычно изначально закладывается ограниченное количество объема эмиссии этой валюты. Поэтому при достижении данного объема дальнейшая эмиссия невозможна (табл. 1).

Рассмотрим основные источники, из которых можно получить криптовалюту. Прежде всего, нужно сказать о майнинге, под которым понимается эмиссия («добыча») криптовалюты. Для этого требуется запустить сложные вычисления на оборудовании соответствующего уровня (см. примечание к табл. 2). Чтобы зачислить криптовалюту на определенный счет, необходимо, чтобы несколько участников блокчейна подтвердили немощеннический характер операции. Блокчейн – децентрализованно хранимая на различных компьютерах непрерывная цепочка блоков, каждый из которых имеет метку времени и ссылку на предыдущий блок. При этом изменить или удалить запись в блокчейне нельзя, но можно добавлять новые. Он включает информацию обо всех операциях между участниками процесса.

Осуществление перевода криптовалюты требует попадания соответствующей информации в блок. По мере добавления нового блока в цепочку следует получить криптографическое доказательство транзакции. С этой целью блок проводят через несколько серий хеш-функции, неоднократно запуская вычисления. При этом первый майнер, нашедший правильный хеш, создает блок и отправляет его другим майнерам, которые после осуществления проверки добавляют его к полной версии блокчейна, хранящейся на их компьютерах. За проделанную работу первый майнер получает вознаграждение в криптовалюте.

В современных условиях для получения криптовалюты зачастую используют майнинг-фермы, представляющие собой совокупность элементов, направленных на решение единой математической задачи [4]. Среди основных видов ферм криптовалют можно выделить следующие:

- GPU – криптовалюта добывается посредством видеокарт;
- CPU – создание криптовалюты осуществляется с помощью процессоров;
- ASIC – состоят из чипов, созданных для майнинга.

При этом деятельность майнеров осуществляется на основе следующих основных принципов:

- Proof of Work: вознаграждение обычно получает майнер, задействовавший наибольшие мощности;
- Proof of Stake: согласно данному принципу, в добыче и подтверждении блоков участвуют субъекты, аккумулировавшие наибольшее количество определенной криптовалюты [5].

Следующим источником криптовалюты выступает биржа, где осуществляется взаимообмен одной криптовалюты на другую или на официальную валюту. Кроме этого, криптовалюту можно получить в качестве оплаты за проданный товар или оказанную услугу.

Инвестируя в криптовалюту, осуществляют вложения в майнинг или покупку (продажу) криптовалюты. Однако, совершая те или иные действия с криптовалютой, необходимо учитывать особенности законодательства.

Для определения доходности инвестиций в майнинг<sup>2</sup> воспользуемся одной из наиболее известных криптовалют – биткоином. Эмиссия биткоина ограничена объемом в размере 21 млн монет. Для него характерен халвинг, под которым понимается снижение вознаграждения майнеров за добычу биткоина. Халвинг происходит, когда в блокчейн добавляются каждые 210 тыс. блоков. Так, если изначально за каждый блок майнер получал 50 биткоинов, то в ноябре 2012 уже 25 биткоинов, потом в июле 2016-го – 12,5 биткоина, а в мае 2020-го – 6,25 биткоина<sup>3</sup>.

В результате уменьшения вознаграждения за майнинг сдерживается объем эмиссии биткоина, а добыча его усложняется, что способствует росту ценности криптовалюты. Для обеспечения

<sup>2</sup> Доходность майнинга криптовалют в 2021 году [Электронный ресурс] // Новость на Media.siggen.pro. Режим доступа: <https://www.reksoft.ru/blog/2021/03/09/mining-2021/>.

<sup>3</sup> Расчет прибыльности майнинга [Электронный ресурс] // Cryptonyka: криптовалюта и платежные системы. Режим доступа: <https://cryptonyka.su/raschet-pribylnosti-majninga/>.

экономической эффективности и снижения потерь из-за халвинга майнеры стремятся использовать более энергоэффективное и мощное оборудование. В ожидании роста курса биткоина, который обычно достигает максимума через один-полтора года после халвинга, майнеры не спешат с продажей коинов, тем самым сдерживая их предложение на рынке. В свою очередь, растет конкуренция между майнерами, провоцируя спрос и рост цен на соответствующее оборудование, и возникает вопрос о дальнейшей целесообразности майнинга. При его определении, кроме вложений в оборудование для майнинга, стоимости электроэнергии, курсов валют и иных показателей, необходимо учитывать:

– что хешрейт представляет собой вычислительную мощность фермы; обычно просчитывается видеокартой или майнером в секунду;

– сложность добычи, которая определяется блокчейн-сетью; обычно с течением времени она увеличивается<sup>3</sup>.

Для дальнейшего расчета<sup>4</sup> воспользуемся данными<sup>5</sup> табл. 2, характерными для одного из самых популярных видов оборудования для майнинга – видеокарты.

**Таблица 2.** Данные для расчета доходности инвестиций в майнинг биткоина, дол. США<sup>6, 7</sup>

**Table 2.** Data for calculating the return on investment in bitcoin mining, USD

Элемент / Element	Значение / Meaning
Сложность сети	27692567959234
Скорость майнера	100 TH/s
Курс криптовалюты	22935,95 BTC/USD
Награда за блок	6,25 BTC
Стоимость фермы	5200 USD
Потребляемая мощность	2200 Вт
Тариф	0,05 USD
Период работы	12 месяцев

*Примечание* – Таблица составлена автором на основе эл. ресурса <https://crypto.ru/skolko-zhivet-videokarta-pri-mayninge/#kakoy-srok-sluzhby-videokarty-pri-mayninge>. Дата доступа: 02.08.2022.

Сегодня обычно работают с майнинг-фермой, в которую в данном случае будет входить один из наиболее распространенных наборов оборудования, состоящий из четырех видеокарт средней стоимостью 1300 дол. каждая<sup>6</sup>. Пользуясь услугами калькулятора для майнинга биткоина, в качестве среднего изменения показателя сложности в месяц задействовали его установленное значение в размере 5 %. Результаты расчетов представлены на рис. 14. В столбце «Доход USD минус расходы» отображаются доходы в долларах США за вычетом расходов на электроэнергию. Как видно, за 12 мес. доходы от инвестиций в майнинг при стоимости фермы 5200 дол. составили 3498,47 дол., то есть покрыли 67,28 % затрат на оборудование. А период окупаемости затрат на оборудование превысит годовой срок и составит около 17,8 мес.

Для сравнения в качестве альтернативного варианта инвестирования можно воспользоваться банковским вкладом. Если ознакомиться с условиями размещения банковских вкладов в белорусских рублях ОАО «АСБ Беларусбанк», то по состоянию на 02.08.2022 размер процентной

<sup>4</sup> Калькулятор майнинга биткоина [Электронный ресурс] // bits.media. Режим доступа: <https://bits.media/calculator/bitcoin/>.

<sup>5</sup> Тарифы на тепло- и электроэнергию снизили в Беларуси до конца 2022 года [Электронный ресурс] // Федерация профсоюзов Беларуси. Режим доступа: <https://1prof.by/news/ekonomika-i-biznes/tarify-na-teplo-i-elektroenergiju-snizili-v-belarusi-do-konca-2022-goda/>.

<sup>6</sup> Гидаспов, И. Какую криптовалюту выгодно майнить в 2022 году [Электронный ресурс] // И. Гидаспов // Currency.com. Режим доступа: <https://currency.com/ru/kakuyu-kriptovalyutu-vygodno-majnit-v-2022-godu>.

<sup>7</sup> Курс доллара в банках Минска на 2 августа 2022 г. [Электронный ресурс] // myfin.by. Режим доступа: <https://myfin.by/currency/usd>.

ставки для соответствующей суммы инвестиций установлен в диапазоне 12,1–19,0 % годовых<sup>8</sup>. При открытии депозита в долларах США сроком на 12 мес. в ОАО «АСБ Беларусбанк» размер процентных ставок варьируется от 3,85 до 6,50 % годовых<sup>9</sup>. Сопоставив значения рассмотренных процентных ставок с доходностью от майнинга биткоина (рис. 1), можно сделать вывод, что майнинг является более прибыльным. Но следует учитывать, что, доходность инвестиций в майнинг зависит от ряда факторов, в том числе не только от сложности в сети, спроса на оборудование и его наличия на рынке, но и от курса криптовалюты. Так, если ознакомиться с информацией об изменении курса биткоина к доллару США<sup>10</sup>, то, например, на 01.12.2016 его величина составила 752,63 дол., а 29.07.2022 установилась на уровне 23982,7 дол., а 08.11.2021 курс биткоина был 66086,1 дол. Как видно, данная криптовалюта является весьма волатильной, что повышает риски инвестирования и затрудняет прогнозирование, особенно в долгосрочной перспективе.

Месяц	Сложность	Изменение сложности	Доход BTC	Доход USD минус расходы	ROI
2022 Август	27 692 567 959 234	+ ▼ 0	0,0162113	291,54	5,61 %
2022 Сентябрь	29 077 196 357 196	+ ▼ 5	0,0154393	291,54	11,21 %
2022 Октябрь	30 531 056 175 056	+ ▼ 5	0,0147041	291,54	16,82 %
2022 Ноябрь	32 057 608 983 808	+ ▼ 5	0,0140039	291,54	22,43 %
2022 Декабрь	33 660 489 432 999	+ ▼ 5	0,0133371	291,54	28,03 %
2023 Январь	35 343 513 904 649	+ ▼ 5	0,0127020	291,54	33,64 %
2023 Февраль	37 110 689 599 881	+ ▼ 5	0,0120971	291,54	39,25 %
2023 Март	38 966 224 079 875	+ ▼ 5	0,0115211	291,54	44,85 %
2023 Апрель	40 914 535 283 869	+ ▼ 5	0,0109724	291,54	50,46 %
2023 Май	42 960 262 048 062	+ ▼ 5	0,0104499	291,54	56,07 %
2023 Июнь	45 108 275 150 465	+ ▼ 5	0,0099523	291,54	61,67 %
2023 Июль	47 363 688 907 989	+ ▼ 5	0,0094784	291,54	67,28 %
<b>Итоговый доход от майнинга составит:</b>			<b>0,1508689</b>	<b>3 498,47</b>	<b>67,28%</b>

Рис. 1. Доход от майнинга биткоина за период август 2022 г. – июль 2023 г.  
Fig. 1. Bitcoin mining income for the period August 2022 – July 2023

Если рассчитать доходность инвестиций в майнинг биткоина по курсу, более низкому относительно курса, представленного в табл. 2: (5932,79 дол. за биткоин, такой курс наблюдался 29.03.2020)<sup>10</sup>, то на основании рассмотренных выше условий доходность за 12 мес. составит 112,82 дол. и покроет лишь 2,17 % стоимости оборудования<sup>4</sup>. А при еще более низком курсе, например 3674,05 дол. за биткоин (такой курс установился 06.12.2018), доходность будет отрицательной в размере –377,15 дол. за год.

Результаты расчета<sup>4</sup> доходности инвестиций в майнинг криптовалюты и размещения аналогичной суммы на банковский депозит с учетом валютного курса к доллару США<sup>7</sup> и биткоину<sup>6</sup> и наиболее высоких процентных ставок по депозитам в белорусских рублях<sup>8</sup> и долларах США<sup>9</sup> отражены в табл. 3. Как видно из данных табл. 3, доходность от инвестиций в майнинг криптовалюты может быть наиболее привлекательной по сравнению с банковским депозитом, но не всегда.

При наиболее высоком из представленных курсов биткоина доходность за год от инвестиций в майнинг на 3160,47 дол. превышает доходность от инвестирования в депозит в долларах США.

<sup>8</sup> Условия размещения вкладов в белорусских рублях [Электронный ресурс] // ОАО «АСБ Беларусбанк». Режим доступа: [https://belarusbank.by/site\\_ru/25271/bel-s-02-08-22\\_2.pdf](https://belarusbank.by/site_ru/25271/bel-s-02-08-22_2.pdf).

<sup>9</sup> Действующие вклады в иностранной валюте [Электронный ресурс] // ОАО «АСБ Беларусбанк». Режим доступа: [https://belarusbank.by/ru/fizicheskim\\_licam/33357/vklady/foreign](https://belarusbank.by/ru/fizicheskim_licam/33357/vklady/foreign).

<sup>10</sup> График курса биткоина за всю историю [Электронный ресурс] // Myfin.by. Режим доступа: <https://myfin.by/crypto-rates/chart-bitcoin>.



**Таблица 3.** Доходность инвестиций в майнинг и банковский депозит за год, дол. США  
**Table 3.** Profitability of investments in mining and bank deposits for the year, USD

Вид операции / Type of operation	Сумма, дол. / Sum, USD	Курс / Rate		Сумма, бел. руб. / Sum, BYN	Процентная ставка за год, % / Interest rate per year, %	Доходность за год, дол. / Profitability for the year, USD
		BTC/USD	USD/BYN			
Майнинг	5200	22935,95	–	–	67,28	3498,47
	5200	5932,79	–	–	2,17	112,82
	5200	3674,05	–	–	–7,25	–377,15
Депозит	5200	–	2,6	–	6,5	338
	5200	–	2,6	2568,80	19	988

В случае сокращения курса биткоина снижается и доходность, вплоть до отрицательного значения. Кроме этого, в сложившихся условиях депозиты в белорусских рублях показывают более высокую привлекательность в сравнении с депозитами в долларах США. Так, их доходность за год на 650 дол., или более чем на 292 %, превышает аналогичный показатель по депозитам в долларах США.

Таким образом, растущий тренд крипторынка и рекорды курса криптовалюты делают целесообразным инвестиции в майнинг даже на устройствах предыдущих поколений. Однако, например, из-за ситуации с пандемией COVID-19 рынок криптовалют обвалился, и стоимость биткоина снизилась. Многие участники рынка отключали свое оборудование. Но в последующем ситуация стала восстанавливаться. Это способствовало увеличению спроса на оборудование, росту цен и его дефициту на рынке<sup>2</sup>.

Следует иметь в виду, что, помимо затрат на оборудование и электроэнергию, инвестируя в майнинг криптовалюты, можно столкнуться с необходимостью оплачивать размещение майнинг-ферм в дата-центрах и расходами на оплату труда технических работников. Поэтому, помимо ставших уже традиционными видов майнинга (посредством видеокарт, ASIC-майнеров), существует облачный майнинг, когда не нужно приобретать оборудование, заниматься его размещением и обслуживанием, но достаточно взять в аренду определенное количество мощностей. Тем не менее здесь тоже есть различные риски: под данным видом майнинга могут скрываться мошенники; не исключены хакерские атаки; могут устанавливаться минимальные пороговые значения для вывода средств, в результате чего некрупные инвесторы могут столкнуться с необходимостью длительного ожидания возможности вывода полученных сумм и др.<sup>11</sup>.

В современных условиях повышается актуальность снижения энергоемкости майнинга, например, посредством использования Proof-of-Space-Time-технологии (PoST), которая не задействует большие вычислительные мощности, но осуществляет транзакции на больших экономических дисковых пространствах. В качестве цели необходимо найти решение задачи на диске, что отменяет большую нагрузку на процессор и снижает энергопотребление<sup>11</sup>. Кроме этого, растет популярность экологичного майнинга, основанного на использовании возобновляемых источников энергии. Но здесь есть свои особенности. Так, например, майнинг на солнечной энергии может использоваться не везде из-за непостоянного солнечного света. Более того, оборудование для майнинга обычно требует охлаждения, поскольку нагревается в процессе эксплуатации, а использование энергии солнечного света в этом случае потребует дополнительных издержек. Более универсальным и распространенным видом экологичного майнинга является майнинг на гидроэнергетике [6].

<sup>11</sup> Как защитить свои деньги и при чем тут экологический майнинг [Электронный ресурс] // Rbc.ru. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/crypto/news/623879c19a7947687839918c>.

## Заключение

1. Криптовалюта является разновидностью цифровой валюты и основана на децентрализованной блокчейн-технологии. Инвестируя в криптовалюту, осуществляют вложения в майнинг или покупку (продажу) криптовалюты. При этом майнинг не следует рассматривать как простой и быстрый способ инвестирования, поскольку он является своеобразным бизнесом, сопряженным с затратами и рисками. С течением времени данный процесс усложняется, вознаграждение снижается, конкуренция между майнерами увеличивается.

2. Курс криптовалюты, в частности биткойна, является волатильным, что еще больше усложняет прогнозирование эффективности инвестиций в майнинг, особенно в долгосрочной перспективе, и повышает риски.

3. В современных условиях растет актуальность снижения энергоемкости майнинга и использования его экологичного варианта, основанного на возобновляемых источниках энергии.

## Список литературы

1. Иванов, Г. И. Инвестиции: сущность, виды, механизмы функционирования / Г. И. Иванов. Ростов н/Д: Феликс, 2002. 352 с.
2. Шарп, У. Ф. Инвестиции / У. Ф. Шарп, Г. Дж. Александр, Дж. В. Бэйли; пер. с англ. М.: Инфра-М, 2013. 1027 с.
3. Дубовик, С. Цифровая экономика: успеть за будущим [Электронный ресурс] / С. Дубовик, В. Бельский // Научная, производственно-практическая газета Беларуси «Навука». 2018. № 14. Режим доступа: <http://gazeta-navuka.by/novosti/1517-tsifrovaya-ekonomika>. Дата доступа: 09.08.2022.
4. Тачков, Д. Майнинг-ферма – что это и как создать? / Д. Тачков // Инвестор100.ру. Режим доступа: <https://investor100.ru/majning-ferma-cto-eto-i-kak-sozdat/>. Дата доступа: 07.08.2022.
5. Захарова, Н. Что такое ферма криптовалют – просто о сложном [Электронный ресурс] / Н. Захарова // BitGid. Режим доступа: <https://bitgid.com/ferma-kriptovalyut/>. Дата доступа: 09.08.2022.
6. Грубин, Н. Экологичный майнинг: альтернативные способы [Электронный ресурс] / Н. Грубин // Энциклопедия блокчейн. Режим доступа: <https://aussiedlerbote.de/2022/01/ekologichnyj-majning/>. Дата доступа: 11.08.2022.

## References

1. Ivanov G. I. (2002) *Investments: Essence, Types, Mechanisms of Functioning*. Rostov-on-Don, Felix. 352 (in Russian).
2. Sharp W. F. (2013) *Investments [Investments]*. Moscow, Infra-M. 1027 (in Russian).
3. Dubovik S., Belsky V. (2018) Digital Economy: Keeping up with the Future. *Nauchnaya, Proizvodstvenno-Prakticheskaya Gazeta Belarusi "Navuka"* [Scientific, Production and Practical Newspaper of Belarus "Navuka"]. (14). Available: <http://gazeta-navuka.by/novosti/1517-tsifrovaya-ekonomika> (Accessed 22 May 2012) (in Russian).
4. Tachkov D. (2022) *Mayning Ferma – Chto Eto i Kak Sozdat?* [Mining Farm - What is it and How to Create it?]. Available: <https://investor100.ru/majning-ferma-cto-eto-i-kak-sozdat/> (Accessed 7 August 2022) (in Russian).
5. Zakharova N. (2022) *Chto Takoye Ferma Kriptovalyut – Prosto o Slozhnom* [What is a Cryptocurrency Farm – Just about the Complex]. Available: <https://bitgid.com/ferma-kriptovalyut/> (Accessed 9 August 2022) (in Russian).
6. Grubin N. (2022) *Ekologichnyy Mayning: Al'ternativnyye Sposoby* [Eco-Friendly Mining: Alternative Methods]. Available: <https://www.rbc.ru/crypto/news/623879c19a7947687839918c> (Accessed 3 August 2022) (in Russian).

## Сведения об авторе

**Костюкова Е. Н.**, к. э. н., доцент кафедры Института бизнеса Белорусского государственного университета.

## Адрес для корреспонденции

220004, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Обойная, 7  
Институт бизнеса Белорусского государственного университета  
Тел. +375 17 222-04-12  
E-mail: [skladlog2017@mail.ru](mailto:skladlog2017@mail.ru)  
Костюкова Елена Николаевна

## Information about the author

**Kostukova E. N.**, Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of the Institute of Business of Belarusian State University.

## Address for correspondence

220004, Republic of Belarus,  
Minsk, st. Oboinaya, 7,  
Business Institute  
of Belarusian State University  
Tel. +375 17 222-04-12  
E-mail: [skladlog2017@mail.ru](mailto:skladlog2017@mail.ru)  
Kostukova Helena Nikolaevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-43-52>

Оригинальная статья  
*Original paper*

УДК 004; 338.4

## E-COMMERCE OF CHINA: ITS REASONS FOR SUCCESS AND CURRENT DEVELOPMENT TRENDS

ANASTASIA A. VLASENKO, GALINA G. GOLOVENTCHIK

*Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 01.07.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** E-commerce is one of the highly digitalized industries, which quickly changes the way people buy products and use companies' services. There are many countries in the world economy now that are trying to adapt informational and communication technologies in various industries to stay competitive and use nowadays' benefits of the Internet, etc. The article considers the e-commerce in China – global leader in the industry. The content of the Chinese e-commerce development foundation, as well as its characteristic features and trends are described. Moreover, recommendations on e-commerce development are given, in particular, for the Republic of Belarus. The novelty of the research conducted lies in the fact that it is the first in the Belarusian practice, which is based on a large array of factual data, and reflects comprehensive analysis of the current state of the Chinese e-commerce, the prerequisites for its rapid development over the past decade and its prospects in the foreseeable future.

**Keywords:** e-commerce, informational and communication technologies, online sale, special economic zone, online store.

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

**For citation.** Vlasenko A. A., Goloventchik G. G. E-Commerce of China: its Reasons for Success and Current Development Trends. *Digital Transformation*. 2022; 28 (4): 43–52.

## ЭЛЕКТРОННАЯ ТОРГОВЛЯ КИТАЯ: ПРИЧИНЫ УСПЕХА И ТЕКУЩИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

А. А. ВЛАСЕНКО, Г. Г. ГОЛОВЕНЧИК

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

*Поступила в редакцию 01.07.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Электронная торговля – одна из самых цифровизированных отраслей в современном мире. Многие страны в мировой экономике адаптируют информационные и коммуникационные технологии в различных отраслях, чтобы оставаться конкурентоспособными и использовать современные преимущества интернета и т. д. В статье рассматривается электронная коммерция Китая – мирового лидера в данной отрасли. Раскрыто содержание этапов становления китайской индустрии электронной коммерции, анализируются ее характерные особенности и тенденции развития. Приведены общие рекомендации по созданию эффективной системы электронной коммерции как для мира в целом, так и для Республики Беларусь в частности. Новизна проведенного исследования заключается в том, что впервые в белорусской практике на основе большого массива фактических данных проведен комплексный анализ современного состояния электронной торговли Китая, предпосылок ее стремительного развития на протяжении последнего десятилетия и перспектив в обозримом будущем.

**Ключевые слова:** электронная торговля, информационно-коммуникационные технологии, онлайн-продажи, специальная экономическая зона, онлайн-магазин.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Власенко А. А., Головенчик Г. Г. Электронная торговля Китая: причины успеха и текущие перспективы развития. *Цифровая трансформация*. 2022; 28 (4): 43–52.

## Introduction

In recent years the idea of economies' digital transformation has become a frequent subject of discussion on different levels and in various spheres. Many researchers consider positive effects from using informational and communication technologies in business activities: enhanced data collection and analysis, better customer experience, increased profits and efficiency in general. Some countries have high level of digitalization, while digital development of others is much lower. Although there are many industries affected by digital technologies, one of the main spheres that expands significantly due to digitalization is electronic commerce, i. e. e-commerce. Meanwhile, e-commerce in the country strongly depends on its digitalization level: the higher the level of digitalization, the higher the extent of e-commerce adoption.

From economic perspective, one of the most successful e-commerce industries in global economy that attracts attention of many analysts exists in China. So, its current state, characteristic features, and development trends can be determined.

## Key reasons for rapid e-commerce development in China

Nowadays China is an absolute leader on global e-commerce market, however, some decades ago it was not. Key reasons of the Chinese e-commerce success include: government support, special economic zones existence, investment encouragement, high internet speed, logistics effectiveness, and high number of internet users. So, considering the government support, development of the industry began in 1990 with the development of the Internet on the Chinese territory – the Chinese government prepared “Golden Projects” aimed at implementation of the Internet in China for commercial purposes (clearing systems formation, improvement of data exchange quality, etc.). Thus, in 1994, the Chinese e-commerce industry started its expansion. The first online transaction in China was made in 1998. In 2000, China Electronics Chamber of Commerce was created, and that time appeared first Chinese e-commerce companies.

China is known for its five-year plans of development, and the e-commerce industry there is not an exception. At the first five-year plan for the e-commerce development in 2006–2010, the country popularized the industry, and in 2007, about 20 % of Chinese internet users have made their purchases in online stores. The second plan for 2011–2015 covered the development of e-commerce applications, institutional and social environment for the industry's security – technical standards, transactions' specific in favour of a third party for internet stores were formed. During 2016–2020, China had been working on tradition industries' digitalization and minimization of state intervention in e-commerce businesses' activities, only providing fair competition for market actors. The plan for 2021–2025 assumes the e-commerce integration in all economy's sectors, its expansion in rural areas and the growth of cross-border e-commerce deals [1].

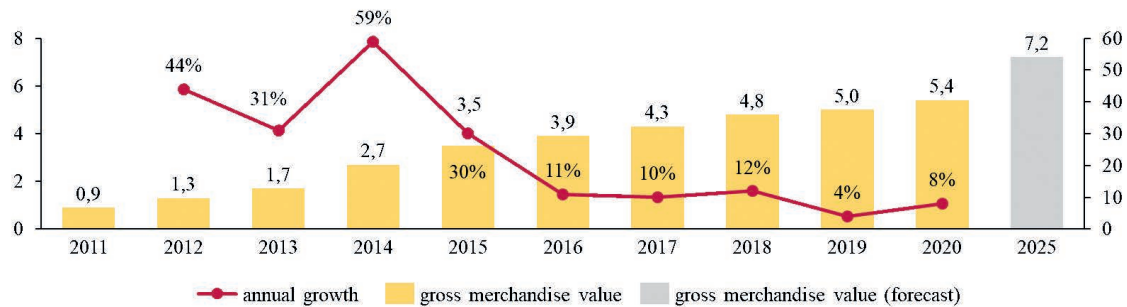
There are also 11 special economic zones for e-commerce development in China [2], and 105 pilot zones for cross-border e-commerce (CBEC). On these zones' territory various benefits and facilities for the industry exist. In addition, strong basis for the industry's development formed investment encouragement in China (for instance, “Go Out Policy”, also known as “Going Global Strategy”). Thus, Chinese foreign investment grew 33 times from 2000 to 2020. In 2020, China invested in other countries the value of 133 billion USD<sup>1</sup>.

The other reason for the e-commerce development is mobile internet connection speed. China is one of the highest in the world – in 2022, the country is on the 3<sup>rd</sup> place by the indicator value, and by the fixed internet connection China is on the 5<sup>th</sup> place from the countries researched.

<sup>1</sup> Statista. Available: <https://www.statista.com/> (Accessed 15 June 2022).

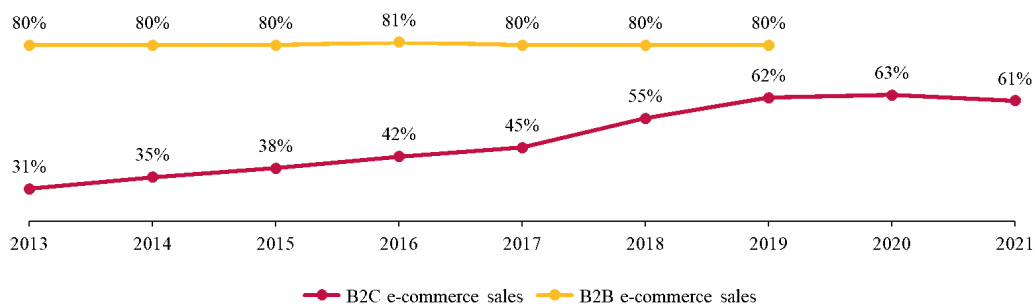
### Chinese e-commerce now: main aspects, features and market players

According to the latest data of Association of Southeast Asian Nations Plus Three (ASEAN+3), e-commerce transaction value in China, including business-to-business (B2B) and business-to-consumer (B2C) transactions, in 2020, estimated 5.4 trillion USD, an increase of 8 % from 2019 – its positive growth has been seen from 2011, and this trend persists. In 2025, the value is expected to reach 7.2 trillion USD (Fig. 1), increasing from 2020 by 33 %.



**Fig. 1.** China e-commerce transaction value and its growth (trillions of US dollars; percent, year-on-year) [1]

Mostly analysed e-commerce industry division assumes 2 segments: B2B and B2C. And nowadays, Asia Pacific region, where China is also located, has the highest level of B2B-transactions: according to the data of Statista on 2021, 80 % of total global online B2B-sales in 2019 were made there (the share has been consistent for about 7 years). In addition, Asia Pacific region, according to eMarketer, amounted to about 60 % of global online B2C-sales – the highest value of B2C-transactions in the world as well (Fig. 2).



**Fig. 2.** Share of Asia Pacific B2C and B2B in global e-commerce sales (percent, year-on-year)

By trading volume, according to the latest UNCTAD’s article considering global e-commerce in 2019, China is the only one country, where both of these segments (B2B and B2C) are almost equal: 41 % of sales are made in B2B e-commerce (Fig. 3), 59 % are made in B2C, so the difference between them is 18 %. Meantime, the difference between these 2 segments in other countries of top-10 e-commerce sales ranking is 44 % (United Kingdom) and higher. Thus, China is the world leader by B2C e-commerce sales as well.

China has a leading position in the number of online buyers in the world – almost 40 % of world’s digital buyers (2.14 billion of people globally) are located there. In 2021, in China were about 840 million of people that shop online, an increase of 8 % from 2020 (Fig. 4). Herewith, the highest growth in the number of online shoppers in China was seen in 2020 because of the pandemic: more than 100 million people started to shop online, an increase of 22 % from 2019. Taking into consideration the number of internet users in China and their share in total population of the country (according to Statista, in 2021, there were more than 1 billion people using the Internet in China with the share of 73 % of total population), about 82 % of Chinese internet users shop online, or 64 % of Chinese population are online shoppers. By the share of online buyers in total population there are countries where the numbers are higher. For example, in the Unites States about 80 % of total population are buying online.

Rank	Economy	Total e-commerce sales (\$ trillions)	B2B e-commerce sales (\$ trillions)	Share of B2B e-commerce sales in total e-commerce (%)	B2C e-commerce sales (\$ trillions)
1	United States	9.6	8.3	87	1.3
2	Japan	3.4	3.2	95	0.2
3	China	2.6	1.1	41	1.5
4	Korea (Rep.)	1.3	1.2	91	0.1
5	United Kingdom	0.9	0.6	72	0.3
6	France	0.8	0.7	85	0.1
7	Germany	0.5	0.4	79	0.1
8	Italy	0.4	0.4	92	0.04
9	Australia	0.3	0.3	94	0.02
10	Spain	0.3	0.2	81	0.06
	10 above	20.2	16.5	82	3.7
	World	26.7	21.8		4.9

Fig. 3. E-commerce sales: top-10 countries, 2019<sup>2</sup>

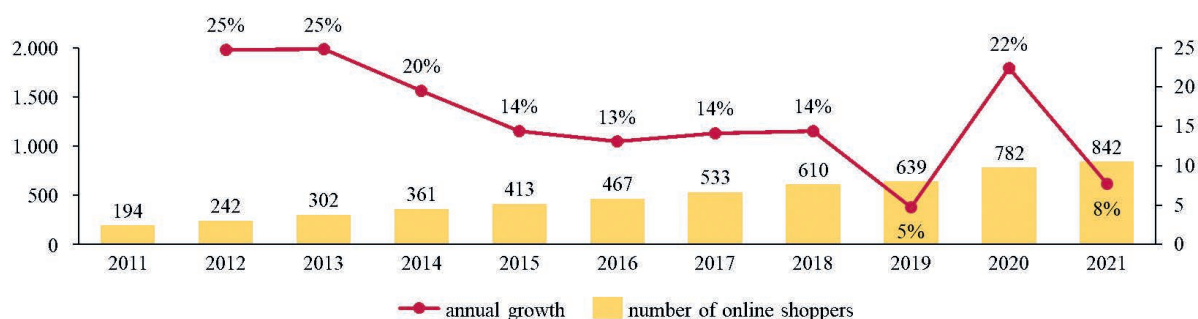


Fig. 4. Number of online shoppers in China (millions of people)<sup>1</sup>

However, China is the most penetrated e-commerce retail market. The growth of retail (B2C) e-commerce sales in China is also one of the highest in the world – in 2021, the sales increased by about 19 %. In addition, China holds more than a half of global retail e-commerce market<sup>3</sup>.

Among characteristic features of Chinese e-commerce there are.

1. High level of mobile e-commerce, i. e. m-commerce, in retail sales: share of m-commerce in Chinese retail e-commerce amounted to 83 % in 2021 (Fig. 5), and is supposed to grow to 85 % in 2025, an increase from 2015 of 35 %. Retail m-commerce sales are growing as well: its value could achieve 3.2 trillion USD, increasing by 52 % from 2021 level.

One of the reason why m-commerce in China is so popular is the existence of mobile payment applications like WeChat Pay and Alipay of Alibaba, which make online shopping on mobile devices more convenient. Moreover, Chinese e-commerce apps (also known as super apps) usually have whole infrastructures including not only own digital payment systems already mentioned, but also messengers and integrations with social networks. Cost effectiveness of such way of online shopping made it popular as well: the cost of mobile devices and mobile networks has made attractive to invest in them.

<sup>2</sup> Global E-Commerce Jumps to \$26.7 Trillion, COVID-19 Boosts Online Retail Sales. Available: <https://unctad.org/es/node/32811> (Accessed 20 June 2022).

<sup>3</sup> eMarketer. Available: <https://www.emarketer.com/> (Accessed 18 June 2022).

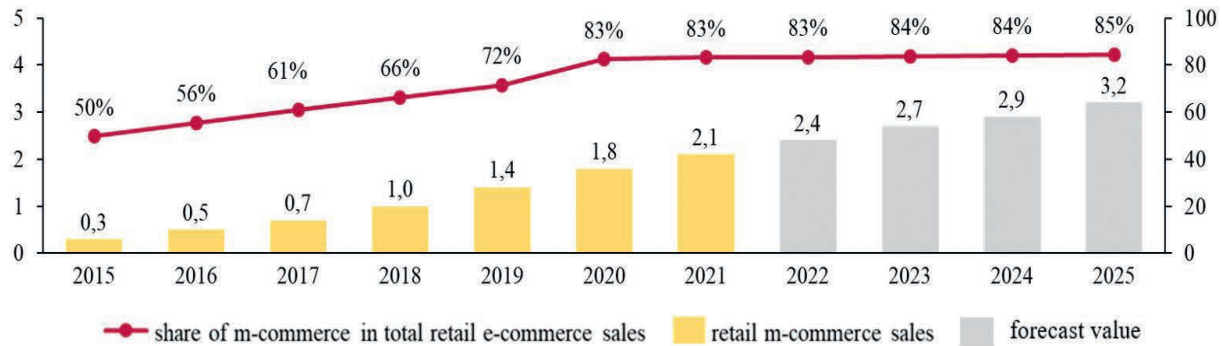


Fig. 5. Retail m-commerce sales in China and their share in total retail e-commerce (trillions of US dollars; percent)

In addition, a lot of Chinese people go online exactly with the help of mobiles, for instance, smartphones: in 2021, according to the data of Statista on February 2022, about 99.7 % of internet users had used them to access the Internet. China has one of the highest mobile internet connection speed as well, with only the United Arab Emirates and South Korea going ahead.

2. High level of online sales in social commerce: in 2021, the value of social commerce reached 316 billion USD, increasing by 31 % from 2020 – it is about 13 % of total retail e-commerce. Comparing with the United States, in 2021, the Chinese social commerce is 10 times bigger than in the USA, and its share in retail e-commerce is higher as well (Fig. 6).

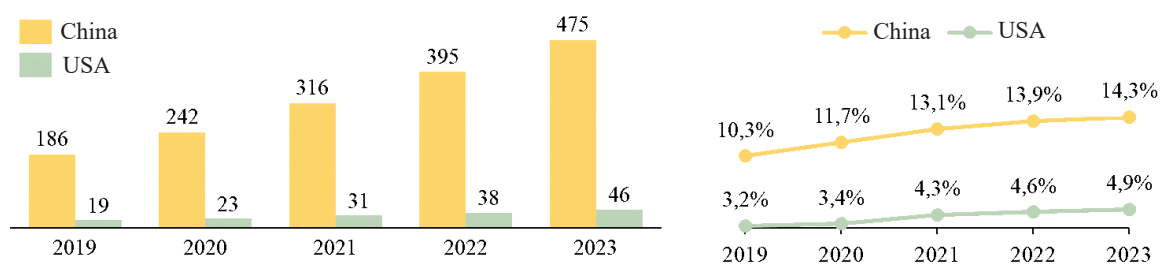


Fig. 6. Social commerce sales in China and the USA, and its share in total retail e-commerce (billions of USD; percent)

The precondition for social commerce development in China was the need to decentralize channels of tradition industries' sales because of high competition and increase in cost for acquisition of new clients. In addition, the main target audience – millennials – expected higher e-commerce adoption and opportunities: digital marketing, innovations, and searching for information, buying and paying for the products without leaving an app.

In addition, Chinese people often turn to livestreaming, or making purchases while watching influencers' videos on different social platforms. Livestreaming has its roots in teleshopping, but it became more convenient and interactive for internet buyers now. In China such way of interaction with consumers first became popular in the gaming industry, but then it also changed the way of selling of brands' products in other spheres. According to eMarketer's data on May 2021, the number of livestreaming retail e-commerce buyers in China was about 320 million of people in 2021, or about 40 % of all digital buyers there<sup>3</sup>. Ways of livestreaming include: social marketing by key opinion leaders (KOL) and key opinion customers (KOC) – Alibaba and Tencent (QQ, Qzone and WeChat), for instance; social discounters that allow people to make group purchases by lower price (Pinduoduo), etc.<sup>4</sup> Other social commerce platforms include: RED, Weibo, and others.

3. High value of cross-border e-commerce. It became popular due to the government's support: there are 105 pilot zones for cross-border e-commerce, because of which foreign actors see the potential in entering the market of China. These zones have infrastructure needed for e-commerce development and even offer simplified procedure of cooperation with state structures (customs authorities, for example) on their territory. In 2022, cross-border retail e-commerce can reach about 200 billion USD, increasing by 8 % from 2021 (Fig. 7), and the tendency of cross-border sales growth persists for about 10 years.

<sup>4</sup> Livestreaming Driven Social Commerce in China as the Future Growth Engine? Available: <https://kathrynread.com/livestreaming-driven-social-commerce-in-china-as-the-future-growth-engine/> (Accessed 29 June 2022).



Fig. 7. Cross-border retail e-commerce sales in China and their growth (billions of USD; percent, year-on-year)

Herewith, the gross merchandise value (GMV) of cross-border Chinese e-commerce trade in 2021 reached 2 trillion USD, an increase of about 13 % from the previous year<sup>1</sup>. The expansion of cross-border transactions in China contributed to the emergence of a new profession on the Chinese market – DaiGou – Chinese individual exporters or group of exporters that live outside China and purchase products for Chinese people. However, in comparison with the USA and the UK, cross-border e-commerce transactions in China are not so widespread: they amount to about 2 % of total e-commerce, while in the USA and the UK they make up more than 30 %<sup>5</sup>. Hence, the country is working on CBECs' promotion.

Considering main Chinese e-commerce market players, these one can be named: *Alibaba Group* (includes Taobao.com, Tmall, Alibaba.com, Aliexpress, and some others) is the biggest e-commerce company in the world with GMV of 1.2 trillion USD in 2021. For comparison, GMV of American Amazon goes hereafter with 600 billion USD in 2021 – 2 times less.

In 2022, the market share of Alibaba on the Chinese market is about 46 %<sup>3</sup>. The company has various operating activities within itself and has rather complex structure, including several companies: *Taobao.com* that functions as an intermediary in a form of electronic trading platform, and includes *Taobao Marketplace* (aimed at consumer-to-consumer purchases (C2C)), *eTao* – electronic searching service. *Tmall* exists for B2C interactions (Taobao Mall earlier) – now the largest CBEC platform in China. *Alibaba.com* has B2B business model, and *Aliexpress*, which does not operate in China.

The second largest e-commerce Chinese company is *JD.com*, it is CBEC's player. Company's GMV in 2021 reached approximately 40 billion USD. In addition, JD.com has a subsidiary – JD Logistics, which carries out international transportation. The company has an extensive network of warehouses and logistics centres all over the world. The share of JD.com in Chinese e-commerce market is about 18 % (Fig. 8).

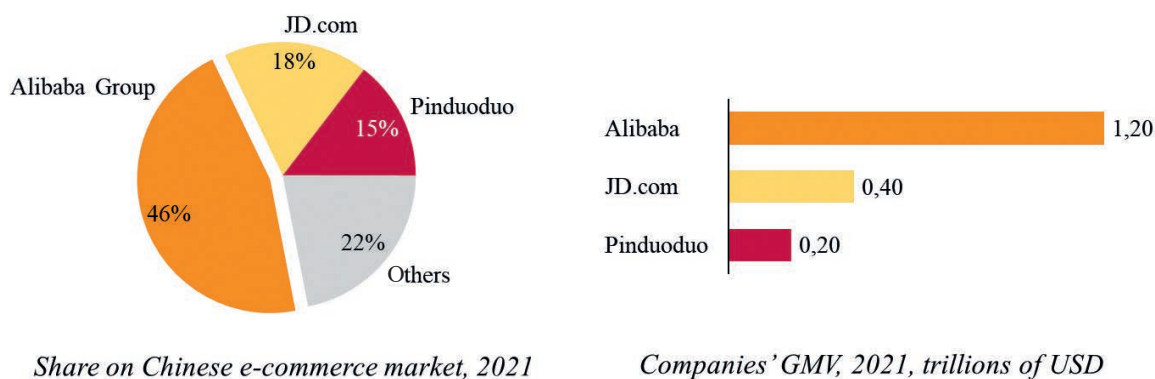


Fig. 8. Chinese e-commerce companies, share on the market and GMV (percent; trillions of USD)

<sup>5</sup> Cross-Border E-Commerce in China: Past, Present & Future. Available: <https://icsin.org/blogs/2021/08/17/cross-border-e-commerce-in-china-past-present-future/> (Accessed 30 June 2022).



The third largest Chinese e-commerce company is Pinduoduo with GMV of 400 billion USD in 2021, and its share on the market of 15 %. The company facilitates agriculture businesses' sales, connecting farmers directly with end-consumers. In 2019, Pinduoduo launched the Duo Duo Farm program in order to improve farmers' knowledge in e-commerce technologies they can use in their business. Within the framework of the program was founded Duo Duo University, where farmers had the opportunity to know how to sell directly to end-consumers, using the Pinduoduo platform. Training courses at the university include e-commerce, online marketing, finance, and other disciplines. Duo Duo Farm helps farmers to cooperate as well. Other large Chinese e-commerce companies are Suning.com (B2C e-commerce platform for household appliances, electronics, cosmetics, products for children etc.) and vip.com (B2C e-commerce with apparel, shoes, food usually on deep discounts).

By number of active buyers, the Alibaba's platform is the first one on the Chinese e-commerce market throughout the years of 2017–2021. In 2021, about 880 million<sup>1</sup> of people made purchases there, increasing from 2020 by 13 % (Fig. 9). With the COVID-19 pandemic the number of such buyers on the platform grew by about 10 %. The second largest company by annual number of digital buyers in 2021 is Pinduoduo. In 2020, the number of active buyers on the Pinduoduo's platform increased by about 23 %. Meantime, there were 570 million of buyers in 2021 on the JD.com platform, making it the third one by the number of online shoppers in 2021.

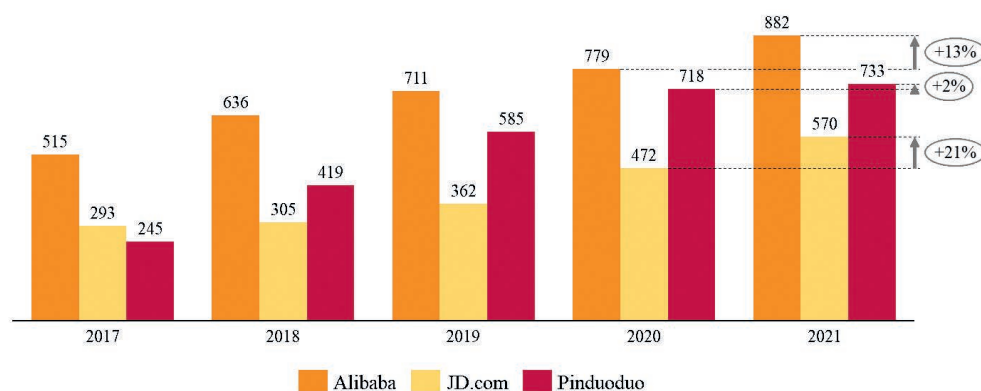


Fig. 9. Chinese e-commerce companies by number of active users (millions of people)

### What comes next with the Chinese e-commerce development?

With the popularity of m-commerce in China comes mobile payment systems and platforms, where China has a dominant role in the world as well. Electronic, i. e. digital, payments are highly connected with the e-commerce industry. In 2022, digital payments are projected to reach about 3.5 trillion USD, in 2026 – about 4.9 trillion USD (Fig. 10). Mostly they are made in e-commerce – about 2 trillion USD in 2022, and the value continues to increase. In 2026 it can be 44 % higher than in 2021. Moreover, the penetration rate of digital commerce payments is the highest among these 3 segments: in 2021, the value is 68 %, while in mobile payments it is about 38 %, mobile POS payments – about 1 %.

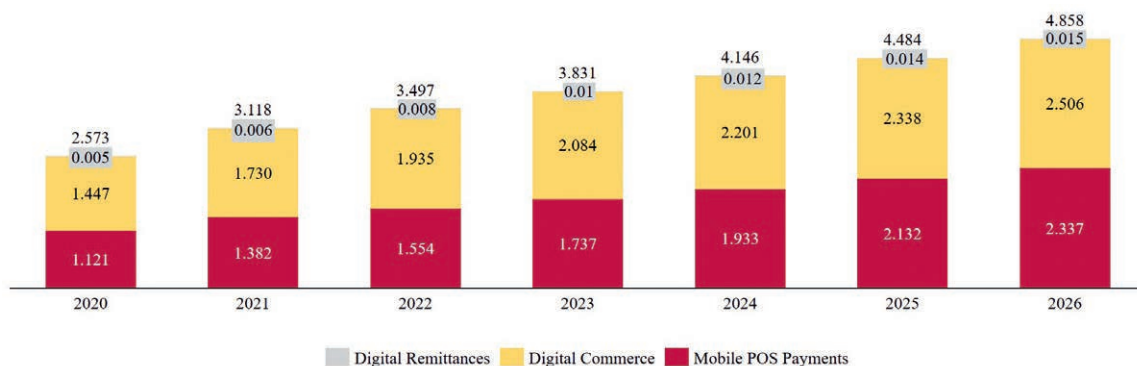


Fig. 10. Transaction value of digital payments in China, by segment (trillions of USD) [3]

The number of mobile wallet users in the country in 2021 reached 2.5 billion of people (Fig. 11), increasing by 3 % from 2020. And there can be 2.7 billion of them in 2023. The most used mobile wallet is AliPay with the share of about 48 % in total (2021), and WeChat Pay – 40 %.

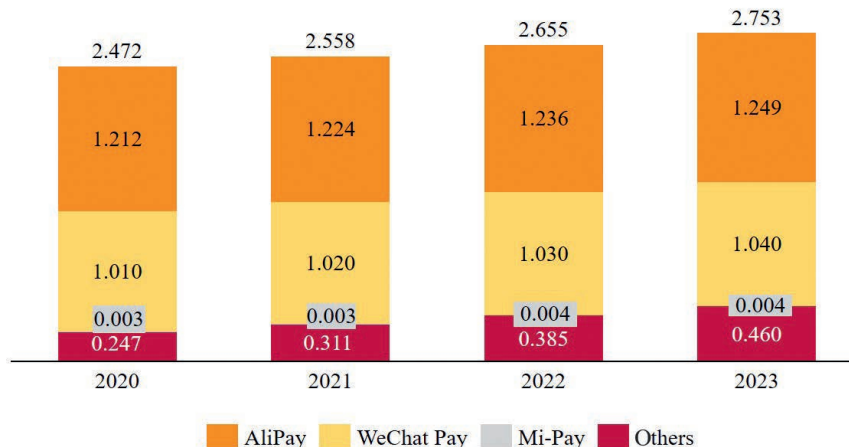


Fig. 11. Mobile wallet users in China (billions of people)

The only problem with digital payments, and, hence, the precondition for the further development is uneven internet connection: in some parts of China the Internet's speed is unstable or very poor. In general, digital payments are usually made with the help of QR-codes, generated either by the buyer, or by the seller, and despite the prevalent role of WeChat and AliPay systems, which shares of Statista's survey respondents using them are 88 % and 95 % respectively in 2021<sup>1</sup>, other payment services are popular as well: UnionPay with 43 % users, JDPay – 25 %, TenPay – 19 %, etc. In addition, as we can see, some popular among population payment systems are developed by general Chinese e-commerce companies: AliPay – by Alibaba, JDPay – JD.com. TenPay, WeChat are owned by Tencent, also known for its social commerce, as it was mentioned before.

Development trends for digital payments, definitely connected with the e-commerce industry (e-banking, in particular), are the growing *financial technologies industry* (fintech) and implementation of *digital currency* [3]. Fintech also contributes to the adoption of Big Data, artificial intelligence, cloud computing, deep learning, robotics process automation (RPA), internet of things (IoT) in businesses, which makes the e-commerce industry more advanced as well.

JD.com already founded JD Finance in 2013, providing wealth management, payment, insurance, financial technology, and other services. Moreover, the company became the first e-commerce platform that started to accept digital yuan, i. e. e-CNY. Since December 2021 to June 2021: there were about 450 thousand of people that had made purchases on the total value of 15.6 million USD in e-CNY. JD.com have also paid some salaries in e-CNY and now is working on enabling usage of digital currency for third-party sellers.

Currently, the fintech industry in China is mainly under the regulation of People's Bank of China (PBoC) and Cyber Administration Authority of China<sup>6</sup>. In 2021, new state regulations have shown up: fintech companies in China need to set up holdings now (and it leads to all the financial operations being under one roof), and the companies must be licensed for operating in the sphere. In addition, they must have secure systems for preventing cross-border risks. Moreover, new law on personal data protection (November 2021) makes the regulation of non-bank payment providers more precise what restricts their activities – for instance, companies whether should have their servers in China, or must be approved in Cyber Administration Authority to act abroad<sup>7</sup>. At first sight, tightened regulation can be seen as a deterrent for the development, but it also stimulates the local fintech companies' improvement. As a result, Chinese people will have an opportunity to use digital financial instruments while buying something on e-commerce platforms.

<sup>6</sup> Cross Border Balance: Fintech in China. Available: <https://fintechmagazine.com/digital-payments/cross-border-balance-fintech-china> (Accessed 15 June 2022).

<sup>7</sup> China Personal Information Protection Law Has Entered into Force on November 1, 2021. Available: <https://www.mondaq.com/china/privacy-protection/1128310/china-personal-information-protection-law-has-entered-into-force-on-november-1-2021> (Accessed 18 June 2022).

The other trend on the Chinese e-commerce market is so named *xiachen* (“to sink”), which means marketing and sales’ refocusing on tier cities and provinces – where salaries and income level are lower, and in addition, due to lower cost of people’s lives there, habitants of these regions have more free money they can spend on buying consumer products.

*Augmented (AR) and virtual reality (VR) technologies* are making purchases more interactive as well. AR and VR are used in livestreaming too: animated characters, virtual idols, first common on anime and video sharing platforms, are being integrated in e-commerce now. In addition, their usage reduces the costs and time. Moreover, if the person is sick, virtual streamer can make up for the absence. As for this trend in China now, VR is generating more revenue than AR, but in 2024 the tendency can change. Revenue of both segments is growing dramatically: in 2022, it can increase by about 70 % from 2021 level<sup>3</sup> to 18.3 billion USD (Fig. 12), and in 2024 the value can reach 44.7 billion USD, growing by 44 % from its 2022.

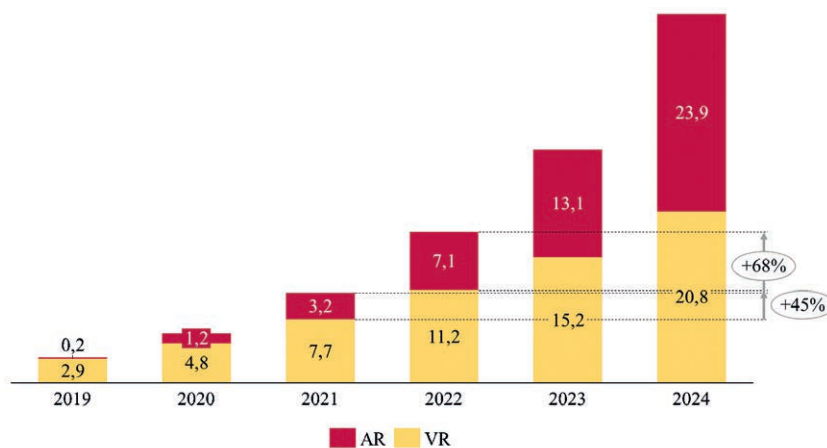


Fig. 12. Augmented and virtual reality revenues in China (billions of USD)

*Livestreaming*<sup>8</sup> in social commerce changes from key opinion leaders (KOLs) to *key opinion consumers* (KOCs). KOLs are experts in the sphere of product they are testing and advertise, or just famous (sometimes the other people are more likely to trust what famous people are saying) – celebrities, models. KOCs are people, whose opinion is considered from perspective of their experience of product using, and the number of their followers is much lower. In addition, followers of KOCs are more loyal. McKinsey notes this trend too: hiring a celebrity for e-commerce marketing campaign costs more money than using micro- and nano-influencers. Moreover, the engagement rate while livestreaming with the help of KOCs are 10 times higher (Instagram).

Some general development trends include: *omnichannel structure* of companies’ communication networks with clients and partners, creating an integrated system that includes both online and offline channels. *Personalised and hyper-personalised customer experience* with data collection of various users’ information, while they access the e-commerce platform, application or website. Advanced technologies of data collection allow offered content to be more relevant to the buyers, increasing the possibility of them making a purchase.

## Conclusions

1. Undoubtedly, the Chinese e-commerce market expansion can be considered as a successful example for the industry’s planning. But it doesn’t mean the way China regulates its e-commerce market will be suitable for other countries.

2. Firstly, countries should use those ways of industries’ development, which are common for their economies’ types: whether they develop plans each several years, or give more freedom for the private sector’s companies. If the economy is socially oriented, have strong state sector, the Chinese experience can be studied more scrupulous; but if it is not, then the other countries’ practices, which are more familiar to the economy’s type, should be considered instead. Secondly, the nation’s mentality should be

<sup>8</sup> It’s Showtime! How Live Commerce is Transforming the Shopping Experience. Available: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/its-showtime-how-live-commerce-is-transforming-the-shopping-experience> (Accessed 25 June 2022).

taken into account. All Asians, Chinese in particular, usually strongly differ from Europeans and Americans. For instance, considering the Chinese people as a nation, precise planning and high level of their organization is unique.

3. However, some general recommendations can be determined. The e-commerce industry development highly depends on the extent of country's *digitalization*, so, the Internet's speed of good quality (both mobile and fixed), its accessibility and stable connection are vital. And from the experience of China, it is seen that it is important to popularise the industry among nation's population, because the success of the country's e-commerce comes from people who use its platforms, technologies, in general from digital buyers. Various programs can be conducted aimed at raising awareness: TV shows, media sources' publications, and national e-commerce companies' advertisement.

4. Successful Chinese experience of e-commerce development and its popularisation in China can be applied in the Republic of Belarus in such areas as:

- development of the progressive regulation base and lowering the legislative barriers on the governmental level for cross-border e-commerce development;
- encouragement of enterprises for the Internet's usage in foreign trade;
- creation of a national mobile payment system and e-commerce platform;
- reduction of import tariffs and simplification of customs clearance procedures, etc.;
- raising awareness and involvement of the population in e-commerce by popularising the industry in the mass media, explaining the obvious benefits of using e-commerce services;
- improving logistics' efficiency, speed and quality of mobile Internet connection, ensuring maximum cybersecurity;
- creation of special economic zones focused both on the development of e-commerce within the country and on cross-border e-commerce, etc.

### References

1. ASEAN+3 Regional Economic Outlook 2022. Available: [https://www.amro-asia.org/wp-content/uploads/2022/04/AMRO-AREO-2022\\_AMRO\\_Full-Final.pdf](https://www.amro-asia.org/wp-content/uploads/2022/04/AMRO-AREO-2022_AMRO_Full-Final.pdf).
2. FDI China Exclusive: The 21 Free Trade Zones Guide 2022. Available: <https://www.fdicchina.com/blog/fdi-china-exclusive-the-21-free-trade-zones-guide-2021/>.
3. 12 China E-commerce Market Trends 2022. Available: <https://tenbagroup.com/12-china-e-commerce-market-trends/#h-2-mobile-payment-platforms>.

### Authors' contribution

Vlasenko A. A. conducted the analysis of the Chinese e-commerce industry, summarized the results and gave some practical recommendations.

Goloventchik G. G. carried out the formulation of the problem for the study.

### Information about the authors

**Vlasenko A. A.**, Master's Student of HSE Graduate School of Business, Moscow, Russian Federation.

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

### Address for correspondence

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



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-53-61>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 658.512.011.56

## ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАНДЕМИИ

А. В. ПЕТУХОВ

*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого (г. Гомель, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 29.06.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Автоматизация технологического проектирования при выполнении курсовых и дипломных проектов ставит перед высшей школой задачу создания и внедрения в учебный процесс систем, способных работать с большими объемами информации, хранящейся в структурированных базах данных. Эта задача значительно усложняется при разработке курсовых и дипломных проектов в условиях пандемии. Сложность заключается в том, что работать приходится не в локальной сети университета, а поддерживать дистанционную работу со студентами, находящимися по месту жительства, через интернет по клиент-серверной технологии. При этом должен поддерживаться режим авторизации каждого пользователя и надежного хранения промежуточных и окончательных результатов проектирования. Опыт использования системы T-FLEX: Технология, интегрированной в систему электронного документооборота T-FLEX DOC's, рассматривается на примере проектирования технологического процесса механической обработки конкретной детали. Последовательно описываются этапы технологического проектирования.

**Ключевые слова:** электронный документооборот, система T-FLEX, курсовое проектирование, пандемия.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования** Петухов А. В. Цифровая трансформация курсового проектирования в условиях пандемии. *Цифровая трансформация*. 2022; 28 (4): 53–61.

## DIGITAL TRANSFORMATION OF A COURSE DESIGN IN THE CONTEXT OF PANDEMIC

ALEXANDER V. PETUKHOV

*Sukhoi State Technical University of Gomel (Gomel, Republic of Belarus)*

*Submitted 29.06.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** Automation of technological design in the implementation of course and diploma projects sets the task of creating and introducing into the higher educational process the necessary systems capable of working with large amounts of information stored in structured databases. This task becomes much more difficult when developing course and diploma projects during a pandemic. The difficulty lies in the fact that one has to work not in the local network of the university but support remote work with students who are at their place of residence via the Internet using client-server technology. At the same time, the mode of authorization of each user and reliable storage of intermediate and final design results should be supported. Experience of using the T-FLEX system: the Technology integrated into the T-FLEX DOC's electronic document management system is considered on the example of designing a technological process for machining a specific part. The stages of technological design are consistently described.

**Keywords:** electronic document management, T-FLEX system, course design, pandemic.

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

**For citation** Petukhov A. V. Digital Transformation of a Course Design in the Context of Pandemic. *Digital Transformation*. 2022; 28 (4): 53–61.

## Введение

Анализ научных источников, описывающих цифровую трансформацию до 2019 года, показывает, что в них глубоко рассмотрены:

- технологии, на которых базируется цифровая экономика, и новые направления на уровне концептуальных понятий [1];
- направления IT-образования в условиях цифровой трансформации [2].

Пандемия, связанная с COVID-19, в настоящее время оказывает влияние на всю мировую экономику. В [3] обосновываются неизбежность цифровой трансформации экономики и ее необходимость в условиях борьбы с пандемией, вызванной COVID-19. Авторами определены наиболее пострадавшие от вируса отрасли и производства.

Сложившаяся ситуация послужила стимулом для исследований цифровой трансформации учебного процесса в условиях пандемии. В [4] описывается практика применения цифровых технологий в образовательном процессе в период пандемии. Однако описание курсового проектирования дано весьма поверхностно и касается в основном передачи фрагментов расчетно-пояснительной записки для проверки руководителем, обратной связи через передачу замечаний от руководителя студенту и проведения защиты проекта через подключение к специально созданному вебинару. При этом само курсовое проектирование, в частности для дисциплины «Автоматизированные системы технологической подготовки производства», включает решение целого комплекса конструкторско-технологических задач, а именно:

- создание параметрических 2D- и 3D-моделей обрабатываемой детали;
- проектирование технологического процесса механической обработки детали;
- разработку управляющих программ для программно-управляемого оборудования;
- создание параметрической 3D-модели станочного приспособления, используемого в технологическом процессе изготовления обрабатываемой детали;
- проведение нагружения параметрической 3D-модели станочного приспособления для определения его работоспособности.

Помимо решения перечисленных задач, в процессе курсового проектирования должны быть решены задачи электронного документооборота:

- авторизированный вход в систему (вход в систему, изменение пароля, завершение работы);
- редактирование документов (создание документа, просмотр и редактирование параметров документа, сохранение документа в хранилище, открытие, редактирование и удаление документа);
- работа с файлами (регистрация файлов, импорт файлов и папок, изменение доступа, просмотр истории изменений документа);
- отправка и получение сообщений (отправка сообщения, пересылка файлов и данных, просмотр полученного сообщения, создание ответного сообщения, пересылка и удаление сообщения);
- работа с заданиями (создание и просмотр задания, принятие и отклонение задания, исполнение и контроль исполнения задания, аннулирование и завершение задания исполнителем, удаление задания);
- поиск объектов (задание области поиска, выбор параметров для поиска, задание условий поиска).

При решении перечисленных задач должно использоваться лицензионное программное обеспечение, позволяющее работать не только в компьютерных классах университета, но и дистанционно. Это требование становится первостепенным ввиду того, что многие студенты в период пандемии могут оказаться на самоизоляции. Таким образом, цифровая трансформация курсового проектирования в условиях пандемии становится весьма актуальной задачей для образовательного процесса в Беларуси. Ее решение должно опираться на результаты исследования, состоящего из следующих стадий:

- выбор автоматизированной системы для реализации поставленных задач;
- адаптация системы к условиям ее использования в учебном процессе;
- внедрение системы в учебный процесс.

### Выбор автоматизированной системы для цифровой трансформации курсового проектирования в условиях пандемии

Выбор автоматизированной системы для курсового проектирования проводился в соответствии с методикой, описанной в [5]. Вначале составляли перечень фирм, разработки которых могли быть использованы для решения задач проектирования и электронного документооборота. В него вошли следующие компании:

- «АСКОН»;
- «Топ Системы»;
- «ИНТЕРМЕХ».

На следующем этапе проводилось комплексное исследование систем, включающее качественную и количественную оценки. В основу методики качественной оценки положена теория выбора и принятия решений, которая исследует математические модели этого вида деятельности [5]. В данном случае имеется множество автоматизированных систем (АС), разработанных перечисленными выше компаниями, и задача сводится к выделению из него некоторого подмножества на основе представления о качестве вариантов, характеризующихся принципом оптимальности. Ввиду того, что в рассматриваемой задаче множество альтернатив, которыми являются АС, известно, она может быть отнесена к задаче выбора [5]. Альтернативы обладают многими свойствами, оказывающими влияние на решение, укрупненно они могут быть классифицированы в определенные множества. При решении задачи выбора компании рассматривались следующие множества свойств:

- $M'$  – возможность использования автоматизированных систем, разработанных компанией, для решения комплекса конструкторско-технологических задач;
- $M''$  – возможность использования автоматизированных систем, разработанных компанией, для решения комплекса задач электронного документооборота.

Детализация указанных множеств показывает, что каждое из них образовано несколькими свойствами, например:

$$M' \{m_1', m_2', m_3', m_4', m_5'\},$$

где  $m_1'$  – возможность создания параметрических 2D- и 3D-моделей обрабатываемой детали;  $m_2'$  – возможность проектирования технологического процесса механической обработки детали;  $m_3'$  – возможность разработки управляющих программ для программно-управляемого оборудования;  $m_4'$  – возможность создания параметрической 3D-модели станочного приспособления, используемого в технологическом процессе изготовления обрабатываемой детали;  $m_5'$  – возможность проведения нагружения параметрической 3D-модели станочного приспособления для определения его работоспособности.

Аналогично для  $M''$  получаем:

$$M'' \{m_1'', m_2'', m_3'', m_4'', m_5'', m_6''\},$$

где  $m_1''$ ,  $m_2''$  – возможность авторизованного входа в систему и редактирования документов;  $m_3''$ ,  $m_4''$  – возможность работы с файлами (отправка и получение сообщений);  $m_5''$ ,  $m_6''$  – возможность работы с заданиями и поиска объектов.

Для формализации выбора наиболее подходящего поставщика программного обеспечения на основании доступных источников [6–8] было принято решение о проведении классификации разработок фирм-поставщиков по трем группам.

К первой группе относились претенденты, разработки которых поддерживают сквозное проектирование. Указанное требование реализовано в разработках всех трех рассматриваемых фирм-поставщиков. Ко второй – претенденты, в системах которых дополнительно предусмотрен контроль исполнительской дисциплины. Это требование также реализовано в разработках всех фирм-поставщиков. К третьей группе были отнесены претенденты, интегрированные САД/САМ-системы которых поддерживали разработку управляющих программ для оборудования с ЧПУ, а также имеющие модуль, позволяющий моделировать процессы нагружения конструкций и оценивать ее прочность с использованием метода конечных элементов. Эти требования реализованы в разработках компаний «АСКОН» и «Топ Системы».

Окончательное решение в пользу разработок «Топ Системы» было принято ввиду того, что Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого с 2006 года включен в Программу поддержки вузов компании «Топ Системы», а также потому, что в штате университета имеется преподаватель, обладающий с ноября 2019-го квалификационным статусом – сертифицированный преподаватель T-FLEX CAD.

### Адаптация системы к условиям ее использования в учебном процессе

Адаптация системы T-FLEX:Технология к условиям ее использования в учебном процессе заключалась в наполнении баз данных технологического проектирования. Их состав показан на рис. 1.

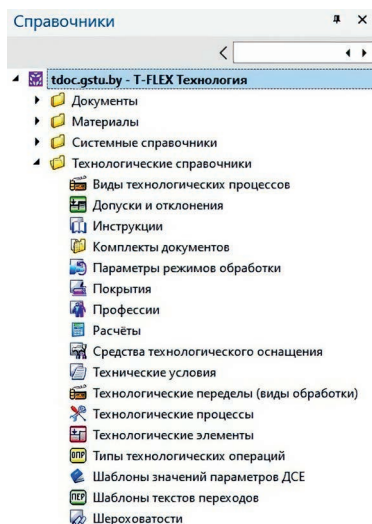


Рис. 1. Состав баз данных технологического проектирования  
Fig. 1. The composition of the databases of technological design

В состоянии поставки в системе T-FLEX:Технология сформирована база данных наименований операций, фрагмент которой представлен на рис. 2.

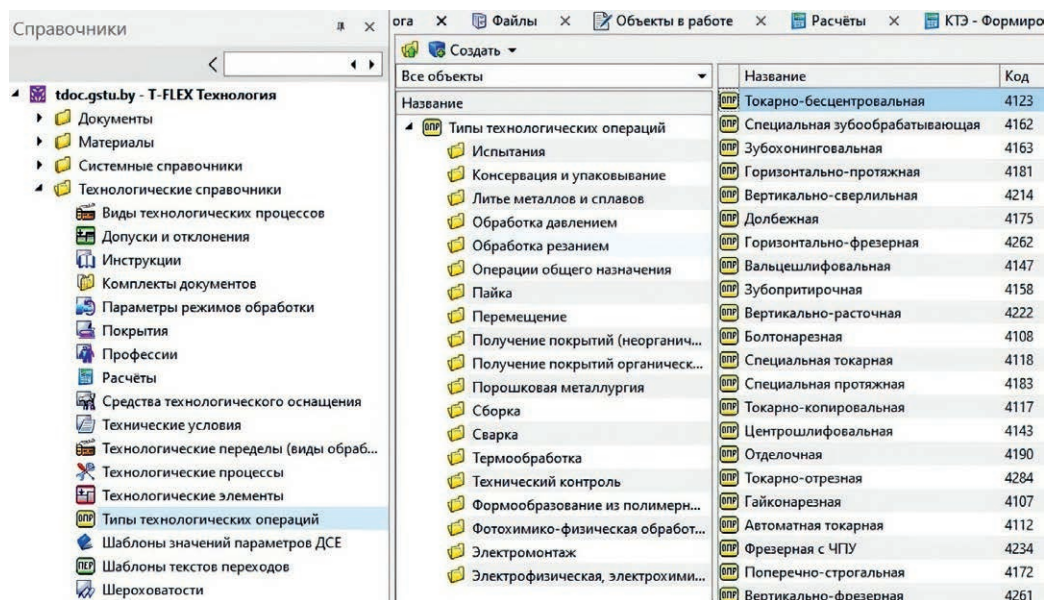


Рис. 2. Фрагмент базы данных наименований операций  
Fig. 2. Fragment of the database of operations names

При формировании базы данных технологического оборудования использовались данные, приведенные в [9]. Отличительной особенностью [9] является то, что, помимо технических характеристик оборудования, там указаны его стоимость и категория ремонтной сложности.



Это позволяет объективно оценить технологическую себестоимость обработки детали. Для формирования базы шаблонов текстов переходов (рис. 3) использовались нормативные документы, регламентирующие правила записи переходов.

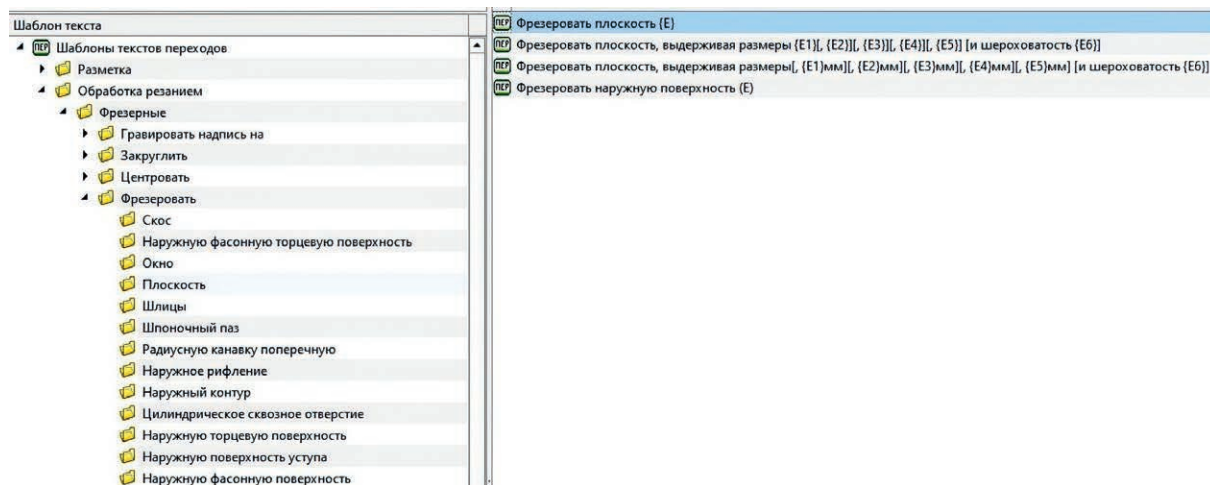


Рис. 3. Фрагмент базы данных шаблонов текстов переходов  
Fig. 3. Fragment of the database of transition text templates

### Внедрение системы в учебный процесс

В учебный процесс система T-FLEX:Технология внедрялась по трем направлениям при выполнении:

- 1) лабораторных работ по дисциплине «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов» студентами специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения»;
- 2) лабораторных работ по дисциплине «Автоматизированные системы технологической подготовки производства» студентами специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)»;
- 3) курсового и дипломного проектирования студентами специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)».

Период внедрения системы T-FLEX:Технология совпал с пандемией COVID-19, что, в свою очередь, наложило дополнительные требования на работу системы. Эти требования заключались в том, что система должна не только функционировать в рамках локальной сети университета, но и обеспечивать стабильную дистанционную работу со студентами, находящимися по месту жительства. Такая возможность была предоставлена студентам за счет использования клиент-серверной технологии.

На персональных компьютерах (ноутбуках), подключенных к интернету, была установлена клиентская часть программного обеспечения системы T-FLEX:Технология. Сотрудники центра информационных технологий отработали порядок авторизованного доступа студентов к серверной части программного обеспечения системы. Это позволило организовать дистанционное проектирование технологических процессов при курсовом и дипломном проектировании.

Приведем описание последовательности проектирования технологического процесса с использованием системы T-FLEX:Технология на примере детали ступицы КЗК 0108614. Первый этап проектирования общего технологического процесса – создание параметрического чертежа в T-FLEX CAD 17 (рис. 4) с нанесением всех необходимых размеров, а также базы данных к нему, содержащей все необходимые параметры для нескольких исполнений с расширением .dbf (рис. 5).

Далее необходимо связать информацию, содержащуюся в базе данных, с системой T-FLEX CAD. Для этого во вкладке «Редактор переменных» (рис. 6), используя параметр «Обозначение», создается список, содержащий обозначения исполнений детали, указанных в базе данных, и проводится привязка переменных к параметрическому чертежу ступицы.

Создается «Типовой технологический процесс» (рис. 7), который содержит последовательность выполняемых операций. Для добавления операции необходимо выбрать режим создания типовой технологической операции (рис. 8).

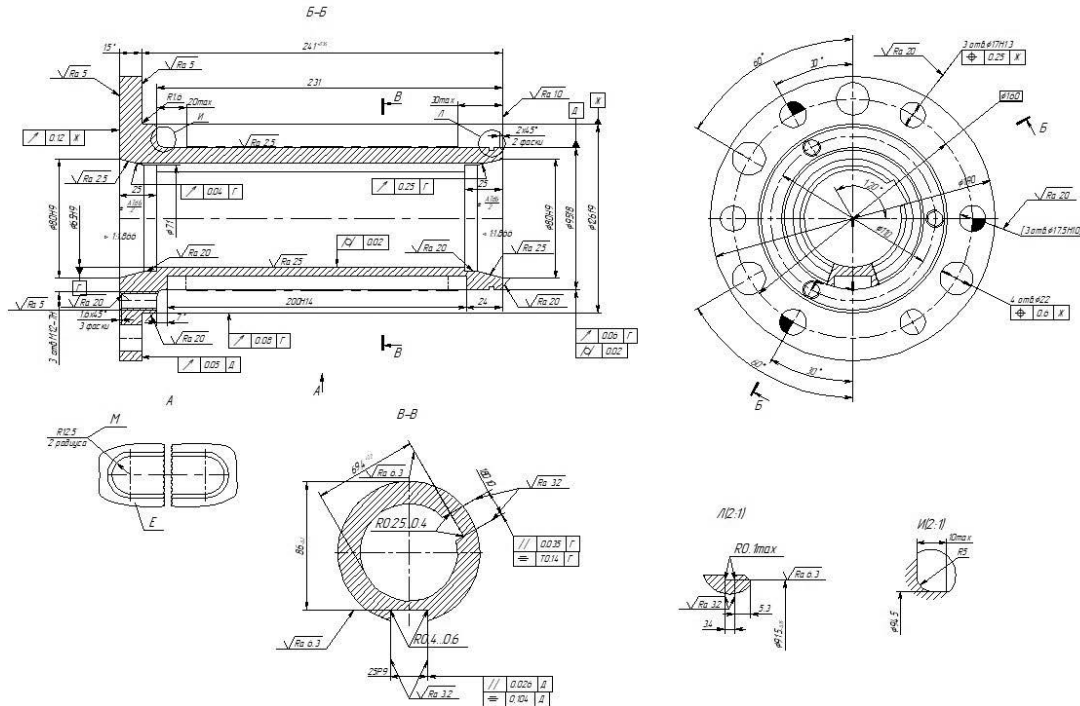


Рис. 4. Параметризованный чертеж детали ступицы КЗК 0108614  
Fig. 4. Parameterized drawing of the detail of the hub KZK 0108614

AR4	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ
1	OBOZN	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	m	x	a1	a2	a3	t	tr	hp1	tp1	hp2	tp3	tp2	r1	r2	
2	0108614-1	22	17	17,50	110	160	190	126	95	71	65	15	10	7	241	25	24	5,30	3,40	30	20	12	1	30	30	60	2	1,6	25	9	18	1,75	4,40	1,60	5	
3	0108614-2	23	18	17,50	110	160	200	136	95	70	65	15	10	10	241	25	24	5,30	3,40	30	20	12	1	30	30	60	2	1,6	30	10	18	2	4,40	1,60	5	
4	0108614-3	25	19	17,50	110	175	210	146	95	65	59	15	10	15	241	35	24	7,00	3,40	30	20	14	2	30	30	60	2	1,6	32	13	18	3	4,40	1,60	5	

Рис. 5. База данных детали ступицы КЗК 0108614  
Fig. 5. Database of the detail of the hub KZK 0108614

Имя	Выражение	Значение	Комментарий
d10	dbl("KZK0108614DB";"d10";{"Обозначение"}=OBOZN)	65	
r1	dbl("KZK0108614DB";"r1";{"Обозначение"}=OBOZN)	1,6	
r2	dbl("KZK0108614DB";"r2";{"Обозначение"}=OBOZN)	5	
Группа: Служебные			
\$Наименование	"КЗК 0108614"	КЗК 0108614	
\$Обозначение	"0108614-1"	0108614-1	
\$ОбозначениеСБ	\$Обозначение+" "+\$Cod	0108614-1	
\$Масса	round(Масса, Точность_массы)	0	get("mass",0)/1 <кр>
\$Cod	\$Tip_Doc=="Чертеж"?\$Cod_Sh(\$Tip_Doc=="Схема"?\$Cod_d(\$Cod_Polz))		
\$Материал2	"СТАЛЬ 45 ГОСТ 1050-88"	СТАЛЬ 45 ГОСТ 1050-88	
\$Материал3			
\$Материал4			
\$Vid_Chert	"Чертеж"	Чертеж	
\$Dop_Text			
\$Tip_Shem	"структурная"	структурная	
\$Tip_Doc	"Чертеж"	Чертеж	
\$Vid	"электрическая"	электрическая	
\$НаименованиеСБ	\$Tip_Doc=="Чертеж"?\$Vid_Chert=="Чертеж"?\$Vid_Chert;\$Tip_Doc=="Схема"?\$Tip_Doc+" "+\$Vid=="комбинированная"		
\$Comb			
\$Ob			
\$Vid_Polz			
\$Cod_Sh	\$Vid_Chert=="Чертеж"?\$Vid_Chert=="Сборочный чертеж"?СБ;\$Vid_Chert=="Чертеж общего вида"?ВО;\$Vid_Chert=="Электрическая"?Э		
\$Cod_d	\$Cod_d1+\$Cod_d2+\$NS	31	
\$Cod_d1	\$Vid=="электрическая"?3;\$Vid=="гидравлическая"?1;\$Vid=="пневматическая"?1;\$Vid=="газовая"?X;\$Vid=="ки..."	3	
\$Cod_d2	\$Tip_Shem=="структурная"?1;\$Tip_Shem=="функциональная"?2;\$Tip_Shem=="принципиальная"?3;\$Tip_Shem=="с..."	1	
\$NS	Nomer_Shem==0?":":+FIOA(Nomer_Shem)		
Nomer_Shem		0	
\$Cod_Polz			

Рис. 6. Редактор переменных в T-FLEX CAD  
Fig. 6. Variable editor in T-FLEX CAD

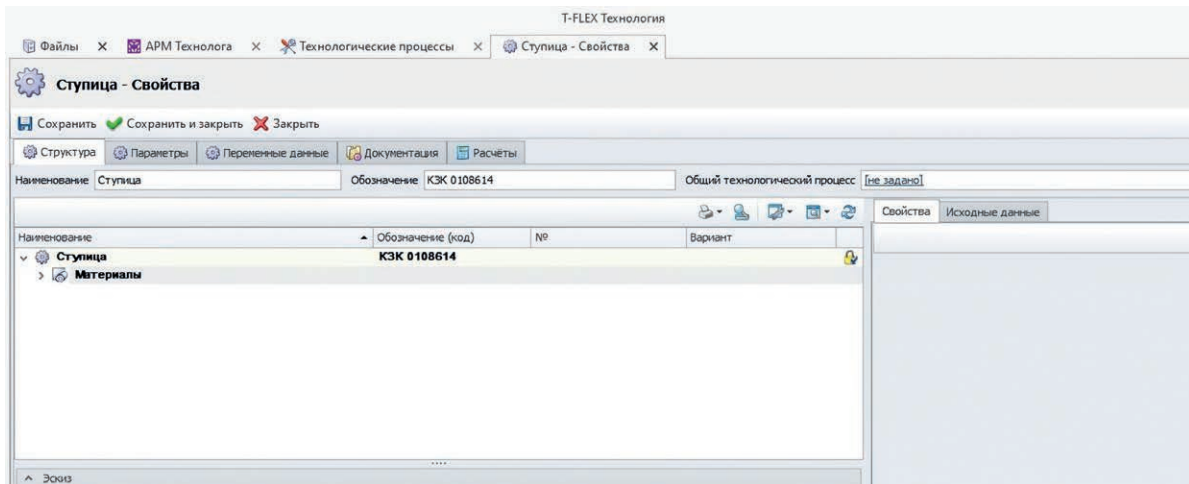


Рис. 7. Окно создания типового технологического процесса  
Fig. 7. Window for creating a typical technological process

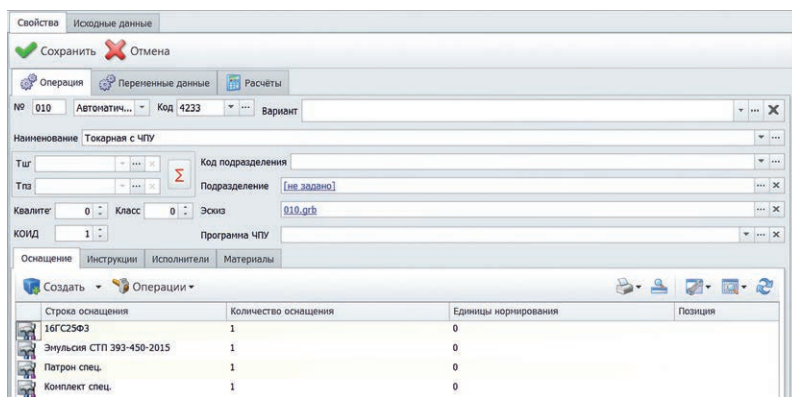


Рис. 8. Окно свойств типовой технологической операции  
Fig. 8. Properties window of a typical technological operation

В окне свойств технологической операции заполняются такие параметры, как номер, код, наименование, эскиз, оснащение, инструкции, исполнители, материалы.

Далее в операции создается «Типовой технологический переход» (рис. 9), где заполняются такие параметры, как операционное и вспомогательное время, текст перехода, режимы, оснащение.

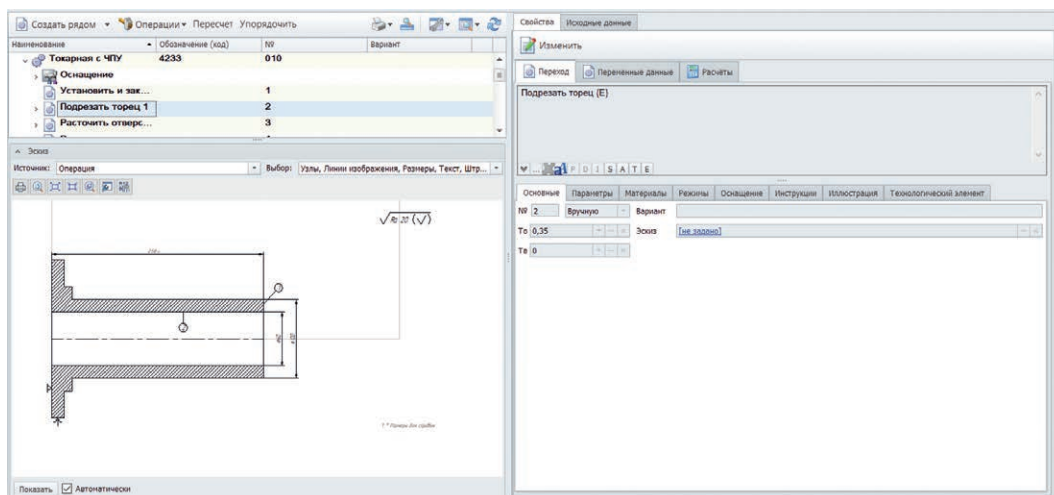


Рис. 9. Окно свойств типового технологического перехода  
Fig. 9. Properties window of a typical technological transition

На вкладке «Параметры» (рис. 10) создается связь между переменной в тексте перехода и обозначением поверхности на операционном эскизе.

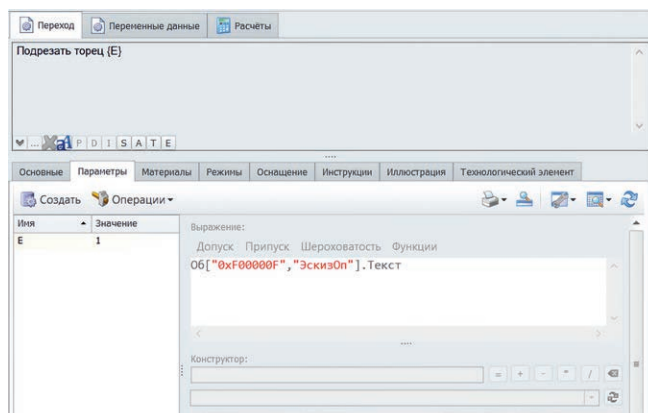


Рис. 10. Вкладка «Параметры» типового технологического перехода  
Fig. 10. Tab “Parameters” of a typical technological transition

Все остальные операции заполняются аналогичным способом (рис. 11).

Наименование	Обозначение (код)	№	Вариант
Ступица	КЗК 0108614		
> Перемещение	0400	005	
> Токарная с ЧПУ	4233	010	
> Перемещение	0400	015	
> Токарная с ЧПУ	4233	020	
> Перемещение	0400	025	
> Токарная с ЧПУ	4233	030	
> Перемещение	0400	035	
> Шлифовальная с ЧПУ	4236	040	
> Перемещение	0400	045	
> Фрезерная с ЧПУ	4234	050	
> Перемещение	0400	055	
> Слесарная	0108	060	
> Перемещение	0400	065	
> Горизонтально-про...	4181	070	
> Перемещение	0400	075	
> Слесарная	0108	080	
> Перемещение	0400	085	
> Фрезерная с ЧПУ	4234	090	
> Перемещение	0400	095	
> Слесарная	0108	100	
> Перемещение	0400	105	
> Промывка	0125	110	
> Перемещение	0400	115	
> Контроль	0200	120	
> Перемещение	0400	125	

Рис. 11. Схема технологического процесса  
Fig. 11. Process flow diagram

На заключительном этапе проектирования формируется готовый комплект документов, состоящий из титульного листа, маршрутной карты, операционных карт и карт эскизов. Для получения комплекта документов необходимо воспользоваться вкладкой «Документация».

### Заключение

Ввиду того, что система T-FLEX:Технология – это подсистема T-FLEX DOC's, при курсовом и дипломном проектировании появляется возможность дополнительно использовать такие возможности, как отправка и получение сообщений, работа с заданиями и поиск объектов.

Все это подготавливает студентов к работе на виртуальном предприятии, создание которых является перспективным направлением развития машиностроения в нашей республике.

### Список литературы

1. Прохоров, А. Цифровая трансформация. Анализ. Тренды. Мировой опыт / А. Прохоров, Л. Коник. М.: ООО «КомНьюс Групп», 2019. 368 с.
2. Курбацкий, А. Н. IT-образование в условиях цифровой трансформации / А. Н. Курбацкий, Ю. И. Воротницкий // Цифровая трансформация. 2017. № 1. С. 7–12.
3. Цифровизация бизнеса в условиях пандемии / Н. П. Макаркин [и др.] // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 11. С. 80–85.
4. Колганов, Е. А. Цифровая трансформация учебного процесса в условиях пандемии. Опыт работы Уфимского филиала ФГБОУ ВО «Финансовый университет при правительстве Российской Федерации» / Е. А. Колганов, М. Ю. Лехмус // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия экономика. 2020. Т. 33, № 3. С. 146–153.
5. Петухов, А. В. Формализация задачи выбора автоматизированной системы / А. В. Петухов // Системный анализ и прикладная информатика. 2018. № 1. С. 16–20. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2018-1-16-20>.
6. Официальный сайт компании «АСКОН». Режим доступа: <https://ascon.ru>. Дата доступа: 19.05.2022.
7. Официальный сайт компании «Топ Системы». Режим доступа: <https://www.tflex.ru>. Дата доступа: 19.05.2022.
8. Официальный сайт компании «ИНТЕРМЕХ». Режим доступа: <https://intermech.ru>. Дата доступа: 19.05.2022.
9. Технология машиностроения. Курсовое проектирование / М. М. Кане [и др.]; под ред. М. М. Кане, В. К. Шелега. Минск: Выш. шк., 2013. 311 с.

### References

1. Prohorov A., Konik L. (2019) *Cifrovaya Transformaciya. Analiz. Trendy. Mirovoj Opyt* [Digital Transformation. Analysis. Trends. World Experience]. Moscow, Ltd "KomN'yus Grup" Publ. 368 (in Russian).
2. Kurbackij A. N., Vorotnickij Yu. I. (2017) IT-education under Conditions of Digital Transformation. *Digital Transformation*. (1), 7–12 (in Russian).
3. Makarkin N. P., Gorina A. P., Alferina O. N., Korneeva N. V. (2020) Digitalization of Business in a Pandemic. *Vestnik Altajskoj Akademii Ekonomiki i Prava* [Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law]. (11), 80–85 (in Russian).
4. Kolganov E. A., Lekhmus M. Yu. (2020) Digital Transformation of the Educational Process in a Pandemic. Experience of the Ufa Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation. *Vestnik UGNTU* [Bulletin of UGNTU]. 33 (3), 146–153 (in Russian).
5. Petukhov A. V. (2018) Formalization of the Problem of Selection of Automated System. *System Analysis and Applied Information Science*. (1), 16–20. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2018-1-16-20> (in English).
6. *Official Website of ASCON Company*. Available: <https://ascon.ru> (Accessed 20 May 2022) (in Russian).
7. *Official Site of Top Systems Company*. Available: <https://www.tflex.ru> (Accessed 20 May 2022) (in Russian).
8. *INTERMEH Official Website*. Available: <https://intermech.ru> (Accessed 20 May 2022) (in Russian).
9. Kane M. M. [et al.] (2013) *Engineering Technology. Course Design*. Minsk, Graduate School Publ. 311 (in Russian).

### Сведения об авторе

**Петухов А. В.**, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого.

### Адрес для корреспонденции

246746, Республика Беларусь,  
г. Гомель, просп. Октября, 48  
Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого  
Тел. +375 29 734-25-13  
E-mail: Petukhov\_2000@gstu.by  
Петухов Александр Владимирович

### Information about the author

**Petukhov A. V.**, Senior Lecturer at the Department of Technology of Mechanical Engineering of the Sukhoi State Technical University of Gomel.

### Address for correspondence

246746, Republic of Belarus,  
Gomel, Oktyabrya Ave., 48  
Sukhoi State Technical University  
of Gomel  
Tel. +375 29 734-25-13  
E-mail: Petukhov\_2000@gstu.by  
Petukhov Alexander Vladimirovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-62-71>

Оригинальная статья  
*Original paper*

УДК 004.056.53

## ПРИМЕНЕНИЕ SDR-ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ В СИСТЕМАХ ДЛЯ ПОИСКА ЗАКЛАДНЫХ РАДИОУСТРОЙСТВ

М. А. БУНЕВИЧ, А. И. МАЙОРОВ, И. А. ВРУБЛЕВСКИЙ

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

*Поступила в редакцию 01.11.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** В рамках статьи рассмотрены вопросы построения и проектирования устройств, работающих по методу резонансно-рефлектометрической локации для поиска закладных радиоустройств. Описаны основные этапы проектирования прототипа устройства, работающего по методу резонансно-рефлектометрической локации. Представлены материалы анализа современных типов SDR-приемопередатчиков и их основных характеристик. Обоснован выбор типа SDR-приемопередатчика по технологии DDC (direct down conversion), в которой задачу по оцифровке сигнала с антенны выполняет ФЦП с большой частотой дискретизации. Приведены результаты исследований работы прототипа устройства на основе SDR-приемопередатчиков для поиска закладных радиоустройств. Полученные экспериментальные данные подтвердили, что характеристики современных SDR-приемопередатчиков, такие как быстродействие, чувствительность и рабочая полоса частот, полностью соответствуют требованиям, предъявляемым для проектирования резонансно-рефлектометрического локатора.

**Ключевые слова:** резонансно-рефлектометрическая локация, закладное радиоустройство, SDR-приемопередатчик, поисковое устройство, имитатор.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Благодарность.** Работа выполнена при поддержке стипендии Президента (Распоряжение Президента Республики Беларусь от 21.02.2022 № 32рп).

**Для цитирования.** Буневич М. А., Майоров А. И., Врублевский И. А. Применение SDR-приемопередатчиков в системах для поиска закладных радиоустройств. *Цифровая трансформация*. 2022; 28 (4): 62–71.

## THE USE OF SDR TRANSCEIVERS IN SYSTEMS FOR SEARCHING COVERT RADIODEVICES

MIKHAIL A. BUNEVICH, ANDREY. I. MAYOROV, IGOR A. VRUBLEVSKY

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

*Submitted 01.11.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** The paper deals with the construction and design of devices operating by the method of resonance-reflectometric location to discover covert radio devices. The main stages of designing a prototype device operating by the method of resonance-reflectometric location are described. The materials of the analysis of modern types of SDR receivers and their main characteristics are presented. The choice of the SDR transceiver type based on the DDC technology (direct down conversion with frequency) is substantiated, in which the task to digitize the signal from the antenna is performed by the FTP with a high sampling rate. The results of the prototype device studies

based on the SDR transceivers to search for covert radio devices are presented. The experimental results confirmed that the characteristics of modern SDR transceivers such as speed, sensitivity, and operating frequency bandwidth is fully consistent with the requirements for the design of resonant-reflectometer locator.

**Keywords:** resonant-reflectometric location, covert radio device, SDR transceiver, search device, simulator.

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

**Gratitude.** The work was sponsored by the President's scholarship (order of the President Republic of Belarus from 21.02.2022 No 32rp).

**For citation.** Bunevich M. A., Mayorov A. I., Vrublevsky I. A. The Use of SDR Transceivers in Systems for Searching Covert Radiodevices. *Digital Transformation*. 2022; 28 (4): 62–71.

## Введение

В настоящее время для негласного получения коммерческой информации применяются закладные радиоустройства, скрытно устанавливаемые в местах нахождения объектов наблюдения. Современные передающие и регистрирующие устройства имеют малые размеры, что позволяет прятать их практически в любом месте с помощью маскирования в различные бытовые приборы и предметы интерьера. При этом элементы питания с повышенным сроком службы гарантируют им работу на протяжении длительного времени. Массовый выпуск и значительное снижение стоимости обеспечивают широкую доступность таких устройств. Поэтому противодействие утечке конфиденциальной информации как в государственных, так и в частных организациях является актуальной задачей. Кроме того, большая мощность излучения нелинейных радиолокаторов может создавать помехи системам связи, находящимся в зоне действия локатора. С учетом того, что работа нелинейного локатора осуществляется в области СВЧ, большая мощность излучения оказывает вредное воздействие на оператора. Для решения таких задач ведется разработка новых поисковых методов [1]. Один из них – метод резонансно-рефлектометрической локации.

Метод резонансно-рефлектометрической локации предложен для решения задач по обнаружению закладных радиоустройств. Основная идея резонансно-рефлекторной локации состоит в следующем: облучать окружающее пространство зондирующими сигналами в диапазоне частот работы закладных радиоустройств 100 МГц–6 ГГц и принимать отраженные сигналы. Большинство закладных радиоустройств работают на фиксированной частоте или в узком частотном диапазоне. Как правило, антенные системы таких устройств имеют высокую добротность. При облучении зондирующим сигналом устройств с высокодобротным контуром с частотой, равной резонансной частоте контура, амплитуда наведенных токов в контуре увеличится пропорционально добротности контура. Это, в свою очередь, приводит к резкому увеличению мощности принятого сигнала на определенной частоте работы передатчика локатора, что свидетельствует о нахождении радиотехнического средства в области излучения [2].

В статье рассмотрены возможности технологии программно-определяемых систем (Software-defined radio (SDR)) для реализации на ее базе прототипа устройства, работающего на принципах резонансно-рефлектометрической локации для поиска закладных радиоустройств.

## Анализ современных SDR-приемопередатчиков и их основные характеристики

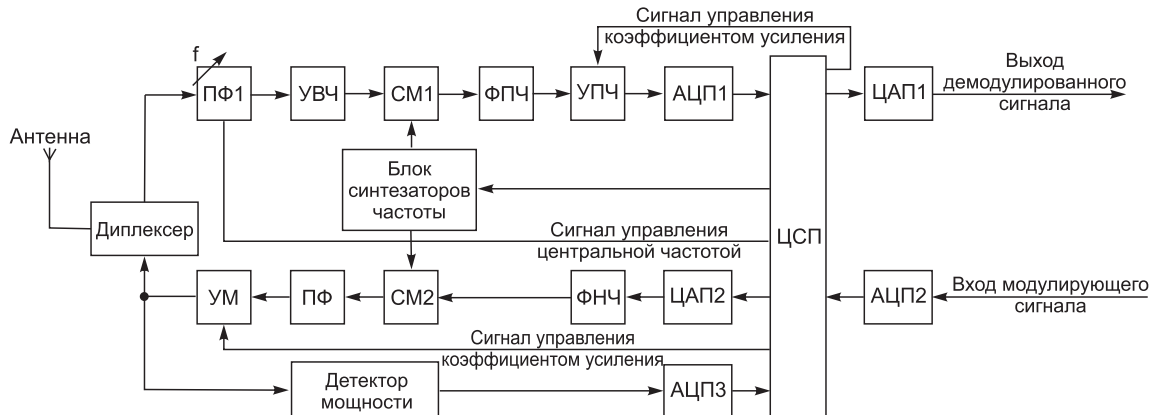
В настоящее время активно развиваются различные SDR-системы благодаря большому спросу на современное телекоммуникационное оборудование, имеющее широкие возможности настройки. Технология SDR позволяет программно устанавливать и изменять рабочие радиочастотные параметры оборудования, такие как диапазон частот, тип модуляции и др. Она характеризуется следующими возможностями: визуализация спектра принимаемого сигнала в реальном времени, применение различных программных настраиваемых фильтров в радиосистеме, реализация функционала для измерений уровня сигнала, настройка приема/передачи разных модуляций в одной радиосистеме без внесения конструктивных изменений. Однако основное преимущество SDR-системы – ее универсальность.

По принципу работы среди различных SDR-приемопередатчиков можно выделить три основных типа:

– устройства SDR, в которых цифровая обработка сигнала происходит не за счет ресурсов устройства, а на стороннем средстве вычислительной техники (ПК, ПЛИС, микроконтроллер и т. д.). Задача таких устройств – выполнить перенос нулевой частоты входного сигнала, а затем

передать такой сигнал по интерфейсам связи на вычислительное устройство. В настоящее время этот тип устройств практически не применяется;

– SDR-приемопередатчики с интегрированной микросхемой АЦП. Передача сигнала на средство вычислительной техники в таких устройствах осуществляется в цифровом виде. Устройства имеют архитектуру супергетеродинного приема сигнала с полосой пропускания до 20 МГц. Обобщенная функциональная схема этого типа устройств представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Функциональная схема SDR-приемопередатчика супергетеродинного типа  
**Fig. 1.** Functional scheme of SDR superheterodyne transceiver

Основной недостаток таких приемопередатчиков связан с появлением зеркального канала из-за аналоговых компонентов в фильтрах. Также в этих приемниках мощные сигналы излучения, находящиеся поблизости от приемника, могут оказывать негативное влияние на прием сигнала, что проявляется в виде помех. Однако соотношение цена/функциональность – основное преимущество устройств данного типа.

Наиболее современной технологией является DDC (direct down conversion) SDR. Основное ее отличие от других SDR-приемопередатчиков заключается в отсутствии аналогового генератора для подстройки на частоту приема. Задачу по оцифровке сигнала с антенны берет на себя АЦП с большой частотой дискретизации. Цифровая обработка сигнала с АЦП выполняется в быстродействующей ПЛИС прямо на плате устройства, и нужный частотный канал (обычно до 6 МГц) передается на средство вычислительной техники. У такого типа устройства отсутствуют недостатки, характерные для предыдущих типов, однако их стоимость остается высокой [3]. Основные параметры наиболее распространенных SDR-приемопередатчиков приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные параметры SDR-приемопередатчиков  
**Table 1.** Basic parameters of SDR transceivers

Наименование приемопередатчика / Transceiver name	Разрядность АЦП, бит / ADC digit capacity, bits	Частота дискретизации, МГц / Sampling frequency, MHz	Количество каналов передачи / Number of transmission channels	Количество каналов приема / Number of receiving channels	Режим связи / Communication mode	Открытый исходный код / Open source code
HackRF One	8	20	1	1	Полудуплекс	Полностью
Ettus B200	12	61,44	1	1	Дуплекс	Схема, прошивка
Ettus B210	12	61,44	2	2		
BladeRF x40	12	40	1	1	Симплекс	Нет
RTL-SDR	8	3,2	0	1		
Lime SDR	12	61,44	2	2		

Для реализации прототипа поискового устройства, работающего по методу резонансно-рефлектометрической локации, был выбран SDR-приемопередатчик HackRF One, как наиболее подходящий по параметрам и с лучшим соотношением цена/функциональность.



### Структурная схема прототипа поискового устройства, работающего по методу резонансно-рефлектометрической локации

Принцип работы резонансно-рефлектометрической локации так же, как и в случае нелинейной локации, имеет вещественный характер. Поэтому более детально следует рассмотреть особенности работы метода нелинейной локации.

Анализ конструктивно-технологических особенностей нелинейных локаторов, как наиболее близких с разрабатываемым устройством, показал, что по принципу работы можно выделить два основных типа нелинейных локаторов: импульсного и непрерывного излучения.

С учетом конструктивных особенностей HackRF One, а также характера его применения для разрабатываемого поискового устройства, работающего по методу резонансно-рефлектометрической локации, не нужно производить селекцию движущихся целей и определение расстояния до цели, в отличие от задач классической радиолокации. Для упрощения конструкции и интерпретации данных предлагается в качестве зондирующего сигнала выбрать немодулированный непрерывный сигнал – монохроматический. Особенность такого сигнала связана с автокорреляционной функцией, которая не зависит от временного сдвига  $t$  и обращается в ноль всюду, кроме плоскости  $F = 0$  [4]. Поскольку HackRF One работает в полудуплексном режиме, было принято решение выполнить устройство на основе двух SDR-приемопередатчиков HackRF One, структурная схема которых представлена на рис. 2.

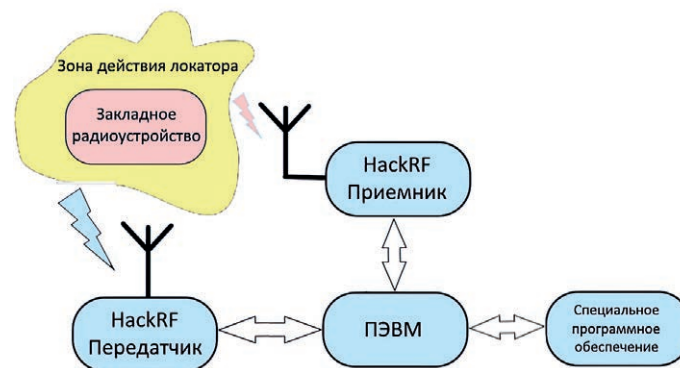


Рис. 2. Структурная схема прототипа устройства

для отработки принципов работы резонансно-рефлектометрической локации

Fig. 2. Block scheme of the proposed prototype device for testing the principles of resonance-reflectometry location

Составной частью разрабатываемого прототипа устройства является специальное программное обеспечение (СПО). СПО позволяет сконфигурировать SDR-приемопередатчик для излучения зондирующих сигналов или обработки принятых отраженных сигналов. При разработке СПО использовалась среда GNU Radio. SDR-трансивер предназначен для формирования зондирующих сигналов, а также приема и обработки отраженных сигналов.

СПО прототипа устройства состоит из двух отдельных программ (flow graph). Один из flow graph служит для первоначальной настройки трактов приемника и передатчика. Схема flow graph приведена на рис. 3. Передающая часть устройства представлена блоками Signal Source, генерирующими сигнал с постоянной амплитудой, и Soapy HackRF Sink, который отвечает за излучение немодулированного высокочастотного (ВЧ) колебания в радиоэфир. Приемная часть представлена блоками Soapy HackRF Source, преобразующими принятый приемной антенной радиосигнал в цифровые отсчеты I- и Q-составляющей. Блоки Qt GUI Frquency Sink и QT GUI Time Sink – это спектроанализатор и осциллограф соответственно.

В верхней части рис. 3 представлены блоки переменных для настройки трактов передатчика и приемника. Переменные определяют параметры ВЧ-трактов SDR-приемников HackRF One, используемых в качестве приемника и передатчика. Функциональная схема HackRF One приведена на рис. 4.

В программе настройки используются блоки переменных трех видов: переменных, не изменяющихся в процессе выполнения программы; логических переменных, которые могут быть изменены в процессе программы; числовых переменных, которые могут меняться при выполнении программы в заданном диапазоне с заданным шагом. К первому типу блоков относится переменная `samp_rate`, задающая частоты дискретизации приемника и передатчика.

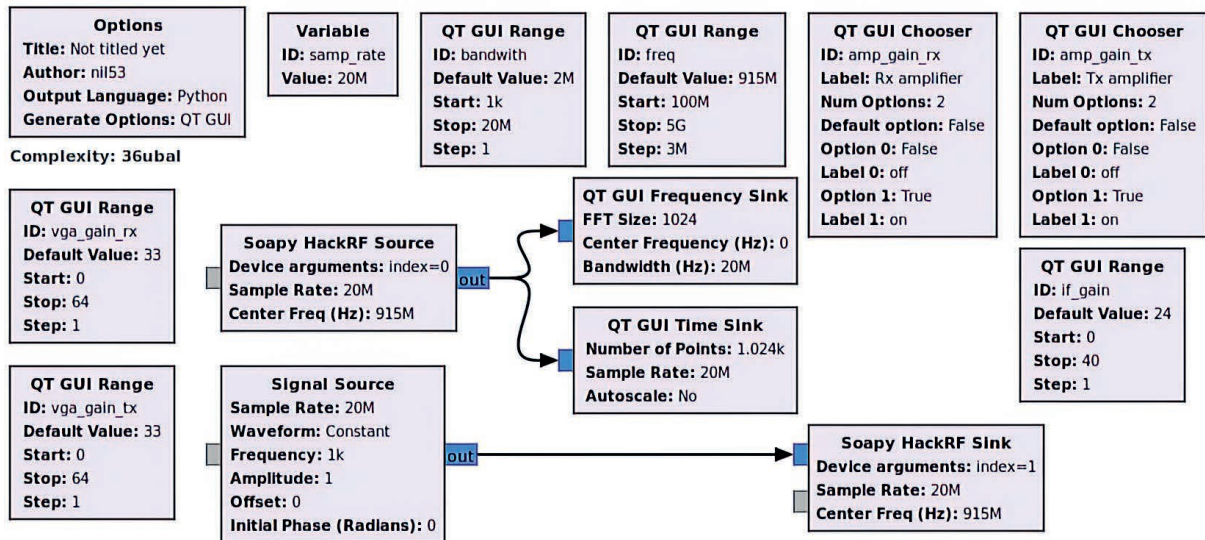


Рис. 3. Программная реализация настройки разрабатываемого прототипа устройства для отработки принципов работы резонансно-рефлектометрической локации  
Fig. 3. Software implementation of the developed prototype of the device for testing the principles of resonance-reflectometric location

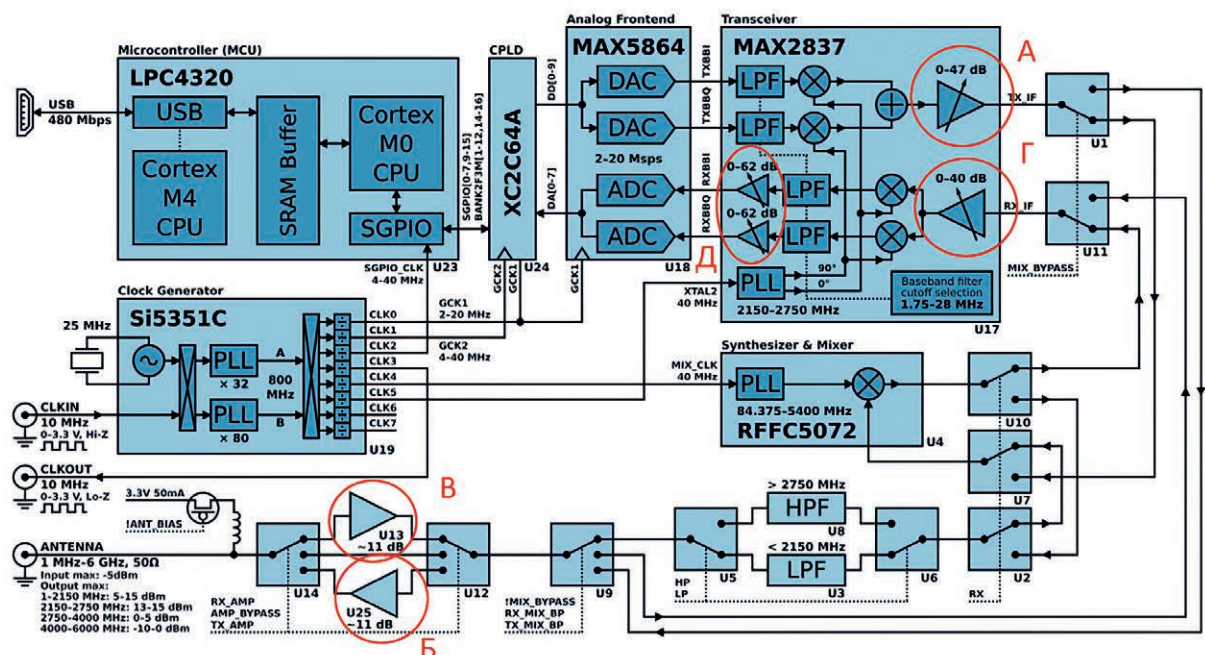


Рис. 4. Функциональная схема HackRF One  
Fig. 4. Functional scheme of HackRF One

За конфигурацию усиления в тракте передатчика отвечают численная переменная  $vga\_gain\_tx$ , которая задает коэффициент усиления в усилителе, управляемом напряжением трансивера MAX2837 (рис. 4, «А»), и логическая переменная  $amp\_gain\_tx$ , включающая или выключающая маломощный усилитель на выходе передающего тракта (рис. 4, «Б»). Остальные переменные служат для конфигурации приемника. Логическая переменная  $amp\_gain\_rx$  включает или выключает маломощный усилитель на входе приемного тракта (рис. 4, «В»). Переменная  $vga\_gain\_rx$ , аналогично  $vga\_gain\_tx$ , задает коэффициент усиления в усилителе (рис. 4, «Г»). Также в тракте приемника непосредственно перед модулем АЦП установлен еще один маломощный усилитель с переменным коэффициентом усиления, который конфигурируется численной переменной  $if\_gain$ . Полосу пропускания приемника задает переменная  $bandwidth$ . На рис. 5 процесс работы программы изображен в виде диаграмм.

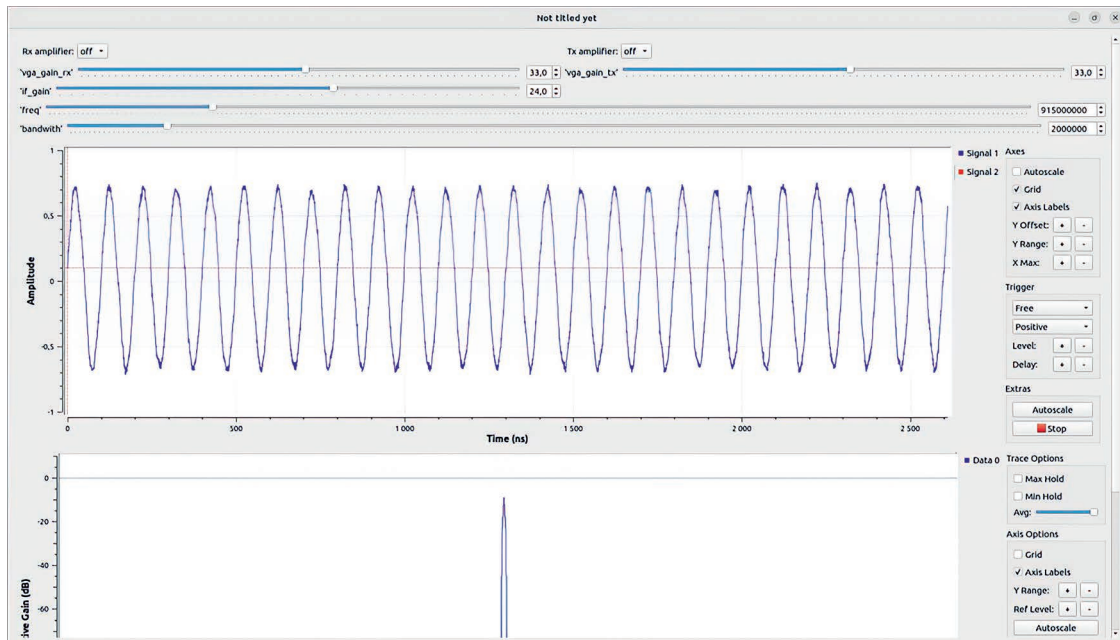


Рис. 5. Процесс работы программы настройки  
Fig. 5. Diagrams showing the process of program tuning

Как видно из рис. 5, все описанные выше переменные представлены в виде интерактивных элементов, позволяющих изменять значения вручную в процессе выполнения программы.

### Описание прототипа закладного радиоустройства

Для проведения исследований по обнаружению изготовили имитатор закладного радиоустройства. Имитатор реализован на базе передатчика T5750 компании Atmel. Из-за низкого тока потребления он может быть востребован в устройствах негласного съема информации. Передатчик содержит блок фазовой автоподстройки частоты, усилитель мощности, кварцевый генератор и предварительный делитель частоты. Также на плате расположены радиоэлементы, согласно схеме включения передатчика, представленной на рис. 6.

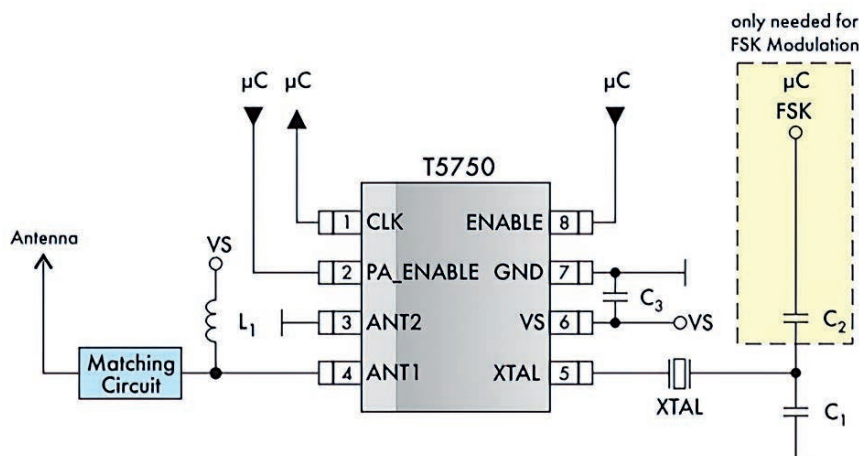
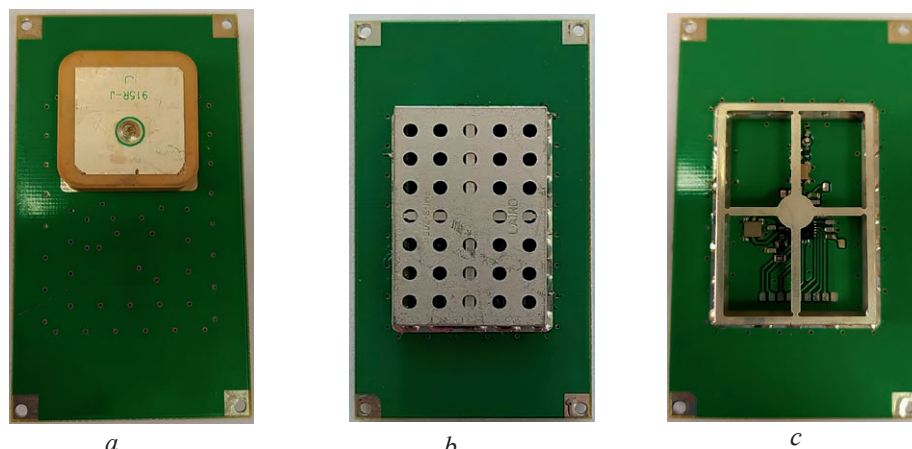


Рис. 6. Упрощенная схема включения передатчика T5750  
Fig. 6. Simplified scheme for turning on the T5750 transmitter

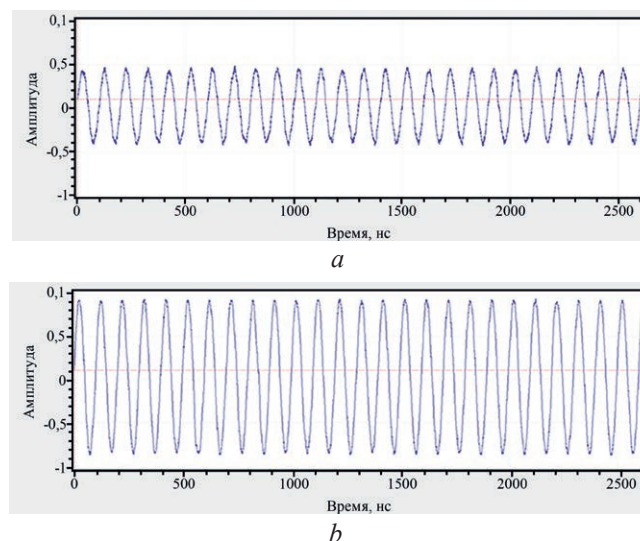
В качестве рабочей выбрана частота имитатора 915 МГц. Для этого, согласно data sheet, используется внешний резонатор на 14,296875 МГц. В качестве антенны – диэлектрическая патч-антенна FA915.254. Для затруднения обнаружения имитатора все компоненты (кроме антенны) размещались под электромагнитным экраном ВМІ-S-205-F 38×25×6 мм со съемной перфорированной крышкой. Внешний вид имитатора показан на рис. 7.



**Рис. 7.** Вид имитатора закладного радиоустройства, работающего на частоте 915 МГц, со стороны:  
*a* – антенны; *b* – элементов с экраном; *c* – элементов со снятым экраном  
**Fig. 7.** Appearance of the covert radio device simulator operating at 915 MHz:  
*a* – antenna side view; *b* – side view of the element with shield; *c* – side view of the element without shield

### Описание работы прототипа устройства, работающего по методу резонансно-рефлектометрической локации

Настройка прототипа устройства заключалась в максимизации разницы амплитуд на входе приемника при внесении имитатора в зону действия локатора и при его отсутствии. Процесс настройки представлен в виде диаграмм на рис. 8. Значения переменных, при которых разница амплитуд максимальна, фиксируются и переносятся в рабочую программу макета.



**Рис. 8.** Диаграммы, показывающие амплитуду сигнала:  
*a* – на входе приемника при отсутствии имитатора; *b* – при внесении имитатора в зону действия локатора  
**Fig. 8.** Diagrams showing the signal amplitude:  
*a* – at the receiver input without simulator; *b* – the same view with simulator

В результате экспериментов установлено, что при частоте дискретизации 20 МГц удается достичь полосы пропускания приемника 16 МГц. Также на основе данных по широкополосному синтезатору RFFC5071, используемому в HackRF One, и результатов экспериментов определенно, что время перестройки частоты в приемопередатчиках HackRF One составляет порядка 70 мкс.

На основе полученных данных выбран следующий алгоритм работы программы. Приемник перестраивается в заданном диапазоне частот с шагом центральной частоты 16 МГц. Одновременно с приемником перестраивается передатчик на частоту  $f_0 - 8$  МГц. Происходит пауза на 70 мкс, необходимая для перестройки трактов приемника и передатчика. После этого на протяжении 100 мкс передатчик излучает сигнал на заданной частоте, после чего перестраивается

с шагом 0,5 МГц. Происходят пауза 70 мкс и период излучения 100 мкс. Так продолжается, пока передатчик не перестроится на частоту  $f_0 + 8$  МГц. После излучения на этой частоте осуществляется синхронная перестройка частоты приемника и передатчика, и перестройка частоты передатчика продолжается в новом диапазоне полосы пропускания приемника по описанному выше алгоритму. Проведенный анализ показывает, что для сканирования устройством диапазона частот 300–3000 МГц необходимо около 0,8 с. Программная реализация алгоритма в среде GNU Radio представлена на рис. 9.

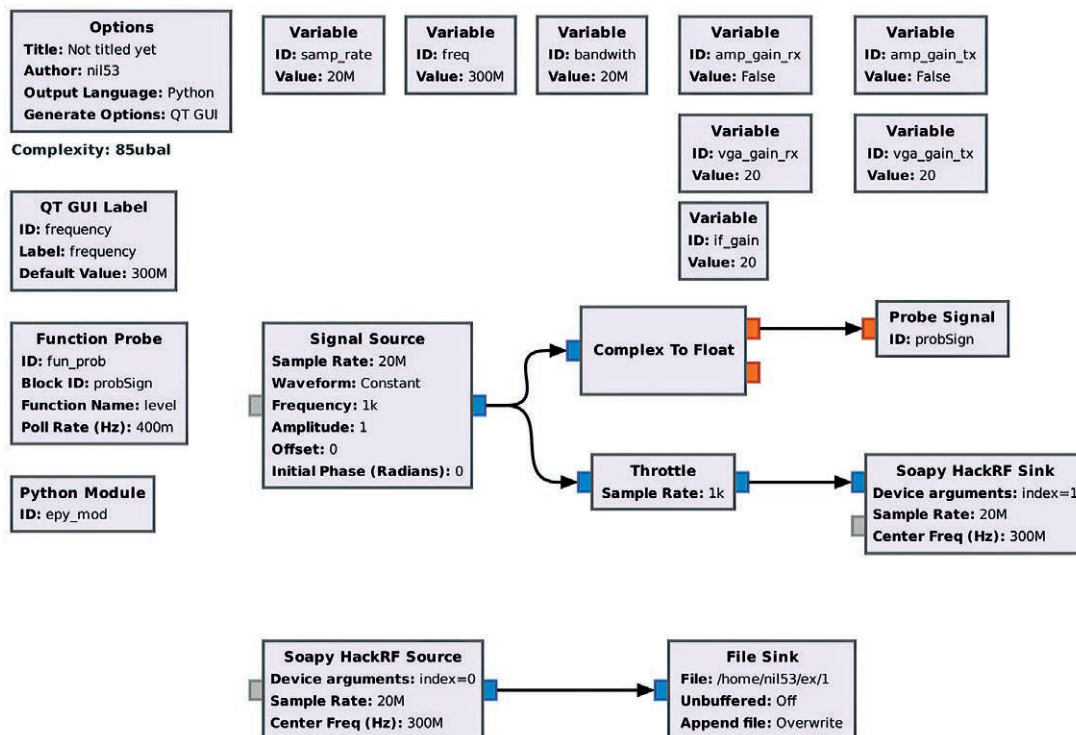


Рис. 9. Структурная схема рабочей части специального программного обеспечения в среде GNU Radio  
Fig. 9. The structure scheme of the working part of the special software in the GNU Radio environment

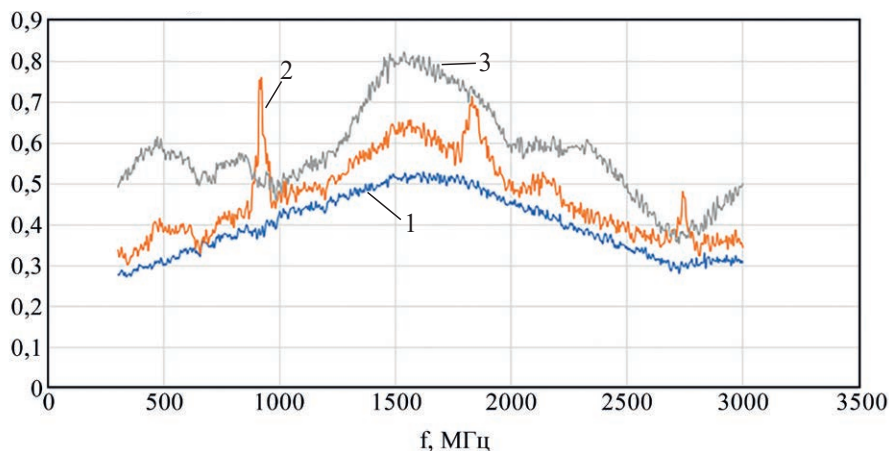
В рабочей части СПО все переменные задаются без возможности изменения их оператором. Частота приемника и передатчика меняется автоматически с помощью скрипта, написанного на языке Python. Скрипт смены частоты реализован в блоке Python module. Запускает скрипт совокупность блоков Function Probe, Complex to Float, Probe Signal.

Как и в предыдущей части СПО, блок Signal Source служит для генерации сигнала с постоянной амплитудой, а Soapy HackRF Sink – для генерации ВЧ-колебания, с тем лишь отличием, что амплитудой блока Signal Source и частотой Soapy HackRF Sink управляет не оператор, а скрипт, находящийся в блоке Python module.

Приемная часть представлена блоками Soapy HackRF Source и File Sink. Soapy HackRF Source – как в предыдущей части СПО. Параметры усиления блока Soapy HackRF Source задаются по результатам работы программы настройки, частотой управляет скрипт, находящийся в блоке Python modul. Блок File Sink служит для сохранения 8-битных отсчетов I- и Q-компоненты принятого сигнала в файл на управляющей ПЭВМ.

Использование рабочей части СПО, представленной на рис. 9, позволило получить бинарные файлы со значениями амплитуды сигнала на различных частотах работы приемника и передатчика при наличии и отсутствии имитатора в зоне действия локатора.

Для обработки полученных данных и разметки их по частоте использовали специальную программу, написанную на языке Python. Эксперимент с внесением имитатора в зону действия устройства повторяли более 20 раз. Также более 20 раз выполняли сканирование при отсутствии в зоне действия имитатора. Проводили эксперимент с внесением в зону действия вещей, не имеющих в своем составе радиочастотных элементов, но с хорошими отражающими свойствами в исследуемом радиодиапазоне. Результаты экспериментов в виде диаграмм представлены на рис. 10.



**Рис. 10.** Диаграмма относительного уровня амплитуды принятого сигнала на различных частотах во время работы прототипа устройства: 1 – при отсутствии в области действия локатора посторонних устройств; 2 – при внесении в область действия имитатора закладного радиоустройства 915 МГц; 3 – при внесении в область действия локатора металлического предмета

**Fig. 10.** Diagram of the relative amplitude level of the received signal at different frequencies during the operation of the device prototype: 1 – in the absence of extraneous devices in operation zone of the locator; 2 – when introducing the simulator of convert radio device on 915 MHz into the zone; 3 – when introducing a metal object into the zone

Из рис. 10 видно, что амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) системы имеет неравномерный вид. Такая особенность АЧХ связана с параметрами антенн и радиоприемных, радиопередающих устройств, которые являются неоптимальными из-за применения широкополосных и универсальных антенных и радиоустройств.

При внесении в зону действия локатора имитатора закладного радиоустройства наблюдались ярко выраженные всплески амплитуды принятого сигнала на частотах в окрестностях рабочей частоты имитатора (915 МГц) и ее гармоник. Полученные результаты подтверждают сделанные выше предположения. При внесении в зону действия локатора металлического предмета уровень амплитуды принятого сигнала возрастал. Однако резких всплесков, как в случае с имитатором, не было отмечено. Данная особенность позволит проводить селекцию целей по методу резонансно-рефлектометрической локации.

### Заключение

1. Рассмотрены вопросы построения и проектирования устройств, работающих по методу резонансно-рефлектометрической локации для поиска закладных радиоустройств.

2. Эксперименты показали, что амплитуда отраженного сигнала от имитатора закладного радиоустройства имела ярко выраженные всплески на рабочей частоте имитатора и ее гармониках. В то же время при внесении других типов целей (металлических предметов, электронных устройств без антенного контура и т. д.) такого эффекта не наблюдалось. Полученный результат подтверждает возможность проводить селекцию отраженных сигналов от закладного радиоустройства. Установлено, что на определенных частотах отраженные сигналы от различного типа целей значительно отличаются по амплитуде. Планируется продолжить исследование пространства признаков отраженных сигналов, полученных при внесении разных типов целей, чтобы оценить возможность применения технологий машинного обучения для решения задачи распознавания отраженных сигналов от различных закладных радиоустройств.

3. Результаты испытаний подтвердили, что характеристики современных SDR-приемопередатчиков, такие как быстродействие, чувствительность и рабочая полоса частот, полностью соответствуют требованиям, предъявляемым для проектирования резонансно-рефлектометрического локатора.

### Список литературы

1. Торокин, А. А. Инженерно-техническая защита информации / А. А. Торокин. М.: Гелиос АРВ, 2005.
2. Bunevich, M. A. The Use of Search Technology Based on Resonant Reflectometric Location for the Detection of Embedded Radio Devices / M. A. Bunevich, A. I. Maiorov, I. A. Vrublevskii // Journal of Radio Electronics. 2021. No 12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.12.5>.

3. Liu, B. Software-defined Radar and Waveforms for Studying Micro-Doppler Signatures / B. Liu, R. Chen // Proc. SPIE 9077, Radar Sensor Technology XVIII, 907718, 29 May 2014. <https://doi.org/10.1117/12.2051044>.
4. Майоров, А. И. Оптимизация зондирующего сигнала резонансно-рефлектометрической локации при работе в условиях промышленных помех / А. И. Майоров, М. А. Буневич, И. А. Врублевский // Технические средства защиты информации: тезисы докл. XX Белор.-Рос. науч.-техн. конф., 2022. 69 с.

### References

1. Torokin A. A. (2005) *Engineering and Technical Protection of Information*. Moscow, Gelios ARV Publ. (in Russian).
2. Bunevich M. A., Maiorov A. I., Vrublevskii I. A. (2021) The Use of Search Technology Based on Resonant Reflectometric Location for the Detection of Embedded Radio Devices. *Zhurnal Radioelektroniki* [Journal of Radio Electronics]. (12). <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.12.5>.
3. Liu B., Chen R. (2014) Software-defined Radar and Waveforms for Studying Micro-Doppler Signatures. *Proc. SPIE 9077, Radar Sensor Technology XVIII, 907718, 29 May 2014*. <https://doi.org/10.1117/12.2051044>.
4. Maiorov A. I., Bunevich M. A., Vrublevskii I. A. (2022) Optimization of the Probing Signal of Resonant Reflectometric Location when Operating under Conditions of Industrial Interference. *Tekhnicheskie Sredstva Zashchity Informacii: Tezisy Dokl. XX Belor.-Ros. Nauch.-Tekhn. Konf. = Technical Means of Information Protection: Abstracts of the XX Belarusian-Russian Scientific and Technical Conference*. 69 (in Russian).

### Вклад авторов

Буневич М. А. осуществил постановку задачи для проведения исследования, подготовил рукопись статьи.

Майоров А. И. провел исследования и визуализацию полученных результатов.

Врублевский И. А. осуществил контроль проводимых исследований, предоставил материалы и оборудование для измерений.

### Authors' contribution

Bunevich M. A. carried out the problem statement for the study, prepared the manuscript of the article.

Mayorov A. I. made samples and visualized the results obtained.

Vrublevsky I. A. supervised the research, provided materials and equipment for measurements.

### Сведения об авторах

**Буневич М. А.**, научный сотрудник лаборатории «Материалы и элементы электронной и сверхпроводниковой техники» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Майоров А. И.**, мл. научный сотрудник лаборатории «Материалы и элементы электронной и сверхпроводниковой техники» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Врублевский И. А.**, к. т. н., доцент, заведующий лабораторией «Материалы и элементы электронной и сверхпроводниковой техники» 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 17 293-89-40  
E-mail: vrublevsky@bsuir.edu.by  
Врублевский Игорь Альфонсович

### Information about the authors

**Bunevich M. A.**, Researcher at the Laboratory “Materials and Components of Electronics and Superconducting Equipment” of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Mayorov A. I.**, Junior Researcher at the Laboratory “Materials and Components of Electronics and Superconducting Equipment” of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Vrublevsky I. A.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Laboratory “Materials and Components of Electronics and Superconducting Equipment” of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka St., 6  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
Tel. +375 17 293-89-40  
E-mail: vrublevsky@bsuir.edu.by  
Vrublevsky Igor Alphonsovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-72-79>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 004.021+004.023+004.514+004.932

## ИНТЕРАКТИВНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ТРАССИРОВКИ ПЕЧАТНЫХ ПРОВОДНИКОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Д. О. ПЕТРОВ

*Брестский государственный технический университет (г. Брест, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 29.06.2022*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Разработан программный модуль, позволяющий производить интерактивную демонстрацию лабиринтных алгоритмов трассировки печатных проводников, которые при своей работе используют сеточное представление дискретного рабочего пространства печатной платы. Основным отличием разработанного модуля от программного обеспечения аналогичного назначения является возможность пошагового аннотированного выполнения различных алгоритмов трассировки печатных проводников с возможностью изменения порядка проведения заданных пользователем трасс. Рассмотрены взаимосвязь алгоритмов нахождения кратчайших путей на графах и алгоритмов трассировки печатных проводников и влияние очередности проведения трасс между парами контактных площадок на длину печатных электрических соединений. Проведен анализ достоинств и недостатков волнового алгоритма (алгоритма Ли) и эвристического алгоритма A\* с описанием их пошаговой работы. Применение разработки оправдано при чтении лекций и проведении лабораторных работ по теоретическим основам систем автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры и способствует решению комплексной задачи цифровизации образовательного процесса при помощи программ-визуализаторов, позволяющих наблюдать результаты работы реализуемых ими алгоритмов на различных наборах исходных данных.

**Ключевые слова:** цифровизация образования, визуализация алгоритма, система автоматизации проектирования, печатная плата, трассировка, дискретное рабочее пространство.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Петров Д. О. Интерактивная визуализация алгоритмов трассировки печатных проводников в учебном процессе. *Цифровая трансформация*. 2022; 28 (4): 72–79.

## INTERACTIVE VISUALIZATION OF THE PRINTED CIRCUITS TRACING ALGORITHMS FOR EDUCATIONAL PURPOSES

DMITRIY O. PETROV

*Brest State Technical University (Brest, Republic of Belarus)*

*Submitted 29.06.2022*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** A software module that allows interactive demonstration of maze routing algorithms for tracing printed conductors, which, during their operation, use a grid representation of a discrete working space of a printed circuit board has been developed. The main difference between the developed module and the software of similar purpose is the possibility of step-by-step annotated execution of various algorithms for tracing printed conductors with the possibility of changing the order of routing user-specified conductors. The interrelation of algorithms for finding the shortest paths on graphs and algorithms for tracing printed conductors and the influence of the order of making connections between pairs of contact pads on the length of printed electrical connections are considered.



An analysis of the advantages and disadvantages of the wave algorithm (Lee algorithm) and the heuristic algorithm A\* was carried out with a description of their step-by-step operation. The use of the development is justified when giving lectures and conducting laboratory research on the theoretical foundations of automation systems for the design of radio electronic equipment and contributes to solving the complex problem of digitalization of the educational process with the help of visualization programs that allow you to observe the results of the algorithms they implement on various sets of initial data.

**Keywords:** digitalization of education, visualization of algorithm, design automation system, printed circuit board, tracing, discrete workspace.

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

**For citation.** Petrov D. O. Interactive Visualization of the Printed Circuits Tracing Algorithms for Educational Purposes. *Digital Transformation*. 2022; 28 (4): 72–79.

## Введение

При изучении технических дисциплин, тесно связанных с информационными технологиями, перед преподавателем встает проблема наглядного изображения процесса работы различных алгоритмов для повышения степени усвоения учебного материала студентами. Применение современных технических средств обучения при чтении лекций позволяет отображать не только статичную и динамическую инфографику, но и привнести элементы интерактивной демонстрации использованием специализированных программ-визуализаторов. Программы-визуализаторы предоставляют возможность наблюдать в пошаговом режиме результаты работы реализуемых ими алгоритмов на различных наборах исходных данных, упрощают взаимодействие преподавателя с аудиторией при поступлении вопросов со стороны учащихся и способствуют улучшению понимания ими изучаемого материала [1–3].

Одна из сложных задач, решаемых при автоматизации разработки радиоэлектронной аппаратуры, – проектирование печатного монтажа. Эта задача состоит в трассировке электрических проводников между множеством пар контактных площадок согласно принципиальной электрической схеме электронного устройства. Обучение студентов теоретическим основам систем автоматизации проектирования радиоэлектронной аппаратуры предполагает знакомство с группой алгоритмов трассировки печатных проводников, относящихся к классу лабиринтных (maze router) [4], которые при своей работе используют сеточное представление дискретного рабочего пространства (ДРП) печатной платы [5]. На практике дискретное рабочее пространство – это двумерная матрица, состоящая из элементов квадратной формы, центры которых представляют собой вершины ортогонального связного неориентированного графа, при этом трассировка печатных проводников соответствует поиску пути в таком графе.

## Классические лабиринтные алгоритмы трассировки печатных проводников

### Алгоритм Ли

Важное место среди лабиринтных алгоритмов трассировки занимает алгоритм Ли [6, 7], разработанный в 1961 году и фактически реализующий поиск в ширину в графе, предложенный в 1959-м Э. Ф. Муром [8]. Алгоритм гарантирует построение кратчайшей трассы между двумя контактными площадками при существовании пути между ними на ДРП печатной платы. Дискретное рабочее пространство представляет собой прямоугольную матрицу  $M$ , состоящую из элементов квадратной формы, содержащую  $m$  строк и  $n$  столбцов. С каждым из элементов матрицы  $M$  связаны два атрибута:  $f$  – признак наличия препятствия проведению трассы и  $l$  – метка, соответствующая номеру текущей итерации поиска кратчайшего пути между контактными площадками. Начальной  $S$  и конечной  $F$  контактными площадкам соответствуют два различных элемента матрицы  $M$ . При работе алгоритма используются три множества ячеек ДРП, обозначенные как  $V$ ,  $W$ ,  $T$ , и переменная  $w$ .

Словесное описание алгоритма Ли представим следующим образом.

1. В соответствии с проектом печатной платы определяется размер  $m \times n$  матрицы  $M$ . У элементов матрицы ДРП, через которые разрешено проводить трассы, атрибутам  $f$  присваивается значение, равное нулю (в дальнейшем такие элементы называются свободными), в противном случае при наличии препятствий проведению трассы атрибутам  $f$  присваивается значение,

равное единице. Атрибутам  $l$  всех элементов матрицы присваивается значение, равное  $\infty$ . Переменная  $w$  и атрибут  $l$  элемента ДРП, соответствующего начальной контактной площадке  $S$ , принимают нулевое значение.  $V := \emptyset$ ,  $W := \emptyset$ ,  $T := \emptyset$ .

2. В множество  $V$  вносятся все свободные элементы матрицы со значением атрибута  $l$ , равным нулю.

3. В множество  $W$  вносятся все свободные элементы ДРП со значением атрибута  $l = \infty$ , имеющие в окрестности фон Неймана входящие в множество  $V$  элементы.

4. Если  $W = \emptyset$ , то проведение трассы между контактными площадками  $S$  и  $F$  невозможно, и следует перейти к шагу 9.

5.  $w := w + 1$ . Атрибутам  $l$  всех элементов, входящих в множество  $W$ , присваивается значение переменной  $w$ .

6. Если элемент матрицы  $M$ , соответствующий конечной контактной площадке  $F$ , входит в множество  $W$ , тогда необходимо перейти к шагу 8.

7.  $V := W$ ,  $W := \emptyset$ . Переход к шагу 3.

8. Последовательно включить в множество  $T$  элементы ДРП с уменьшающимися на единицу значениями атрибута  $l$ , начиная с конечной контактной площадки  $F$  ( $l = w$ ) и заканчивая  $S$  ( $l = 0$ ).

9. Множество  $T$  содержит элементы ДРП, представляющие собой трассу, проведенную между  $S$  и  $F$ .

#### Алгоритм $A^*$

Несмотря на гарантированное отыскание существующего кратчайшего пути между контактными площадками, на быстроедействие алгоритма Ли отрицательно влияет высокая вычислительная сложность, характерная для поиска в ширину в неориентированном графе. Вычислительную сложность поиска в ширину возможно сократить, снижая количество обследуемых вершин графа путем информированного их отбора на основе эвристического подхода, как это описано в алгоритме  $A^*$  [9], разработанном в 1968 году для поиска кратчайшего пути между вершинами связанного графа и часто находящим свое применение при трассировке печатных проводников [10, 11].

Исходными для работы алгоритма  $A^*$  являются следующие данные: дискретное рабочее пространство в виде прямоугольной матрицы  $M$ , состоящей из элементов квадратной формы, содержащей  $m$  строк и  $n$  столбцов; начальная  $S$  и конечная  $F$  контактные площадки, которым соответствуют два различных элемента матрицы  $M$ . С каждым из элементов матрицы  $M$  связаны четыре атрибута:  $f$  – признак наличия препятствия проведению трассы,  $g$  – длина пути от начальной контактной площадки до элемента,  $h$  – эвристическая оценка длины пути от элемента до конечной контактной площадки,  $l$  – ссылка на предшествующий по пути элемент. В качестве эвристической оценки длины пути между ячейками матрицы в данном случае рекомендуется применять так называемое манхэттенское расстояние, т. е. расстояние между двумя точками равно сумме модулей разностей их координат по строкам и столбцам матрицы  $M$ . При работе алгоритма используются три множества элементов ДРП, обозначенные как  $P$ ,  $Q$ ,  $T$ , переменные  $x$ ,  $z$ , соответствующие обрабатываемым элементам матрицы дискретного рабочего пространства модели печатной платы, и представляющая собой ссылку на элемент ДРП переменная  $v$ . Для сокращения словесного описания алгоритма при обращении к атрибуту поименованного элемента матрицы ДРП будет использована точечная нотация, например:  $x.g \equiv$  атрибут  $g$  элемента матрицы  $M$  с именем  $x$ .

Словесное описание алгоритма  $A^*$  представим следующим образом.

1. В соответствии с проектом печатной платы определяется размер  $m \times n$  матрицы  $M$ . У элементов матрицы, через которые разрешено проводить трассы, атрибутам  $f$  присваивается значение, равное нулю (в дальнейшем такие элементы называются свободными), в противном случае при наличии препятствий проведению трассы атрибутам  $f$  присваивается значение, равное единице.  $P := \emptyset$ ,  $Q := \emptyset$ ,  $T := \emptyset$ . Атрибутам элемента, соответствующего стартовой контактной площадке  $S$ , присваиваются следующие значения:  $g := 0$ ,  $h :=$  манхэттенское расстояние между стартовой и конечной контактными площадками,  $l :=$  нет значения.

2. В множество  $P$  включается элемент ДРП, соответствующий стартовой контактной площадке  $S$ .

3. Если  $P = \emptyset$ , то пути между контактными площадками  $S$  и  $F$  не существует, и следует перейти к шагу 9.

4. Элемент  $x$  матрицы ДРП с минимальным значением суммы атрибутов  $g$  и  $h$  (в дальнейшем такой элемент ДРП будет называться элементом с минимальной стоимостью), находящийся в множестве  $P$ , перемещается из множества  $P$  в множество  $Q$ , а ссылка на него присваивается переменной  $v$ . Если  $x \equiv F$ , тогда следует перейти к шагу 7.

5. Рассматриваются все элементы ДРП, находящиеся в окрестности фон Неймана относительно элемента с минимальной стоимостью и не принадлежащего множеству  $Q$ . Для каждого элемента  $z$  ДРП, удовлетворяющего указанным условиям, выполняются следующие действия:

5.1. если  $z \in P$  и величина  $z.g > x.g + 1$ , то  $z.g := x.g + 1$ , а  $z.l := v$ ;

5.2. если  $z \notin P$ , то  $z.l := v$ ,  $z.g := x.g + 1$ ,  $z.h :=$  манхэттенское расстояние между  $z$  и конечной контактной площадкой, включить  $z$  в множество  $P$ .

6. Переход к шагу 3.

7. Включить элемент  $x$  матрицы ДРП в множество  $T$ ,  $z := xl$ .

8. Если  $z \neq$  нет значения, то следует выполнять следующие действия:

8.1. включить элемент  $z$  в множество  $T$ ,  $z := z.l$ ;

8.2. переход к шагу 8.

9. Множество  $T$  содержит элементы ДРП, представляющие собой трассу, проведенную между  $S$  и  $F$ .

### Особенности последовательного построения множества трасс

Очередность построения множества соединений между контактными площадками в значительной степени влияет как на качество трассировки, так и на саму возможность провести все трассы. На рис. 1 изображена ситуация, когда проведение трассы между парой контактных площадок С–D делает невозможным выполнение соединения между площадками E и F.

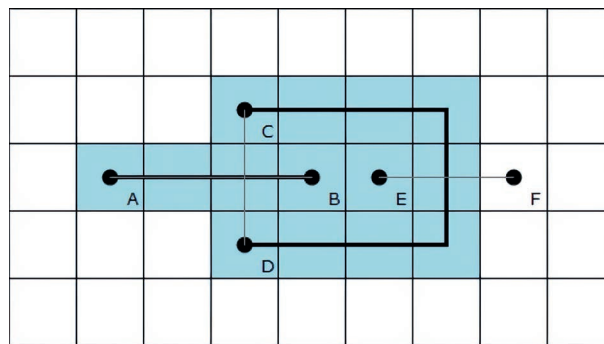


Рис. 1. Пример конфликта при построении трасс С–D и E–F  
Fig. 1. An example of a conflict in the construction of C–D and E–F wires

Устранение возникшей проблемы возможно при изменении очередности трассировки соединений: сначала выполняется соединение E–F, а затем С–D, как показано на рис. 2. Также порядок трассировки способен повлиять и на длину соединений.

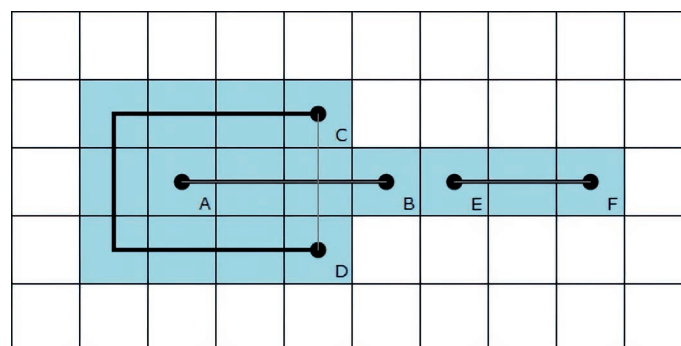


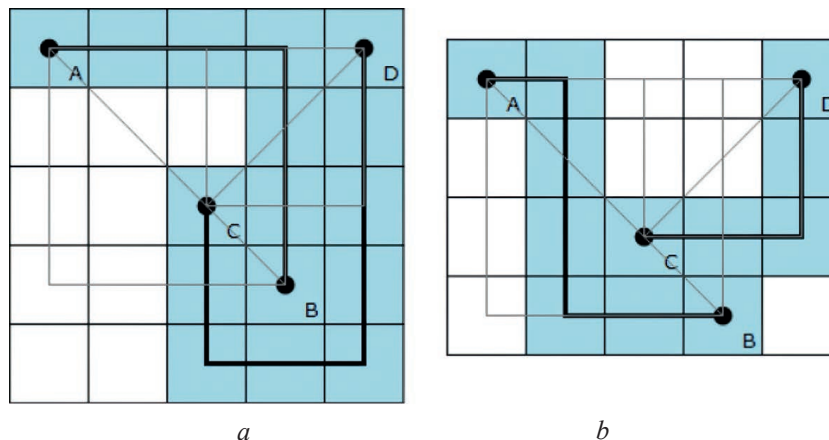
Рис. 2. Пример устранения конфликта при построении трасс С–D и E–F  
Fig. 2. An example of conflict resolution when constructing C–D and E–F wires

На рис. 3, *a* можно видеть неоправданное увеличение длины трассы С–D при выполнении соединения сначала между парой площадок А–В, а затем между парой С–D. Изменение очередности прокладки трасс устраняет выявленный недостаток (рис. 3, *b*). Один из способов определения корректной очередности прокладки трасс – учет количества контактных площадок внутри прямоугольных областей, противоположными углами которых являются конечные точки соответствующих соединений, при этом трассировка выполняется в порядке убывания отмеченного количества [12]. Например, на рис. 3 в прямоугольную область А–В попадает одна контактная площадка С, а область С–D не содержит ни одной площадки, следовательно, сначала прокладывается соединение С–D, а затем А–В. Необходимо отметить, что указанный способ упорядочивания соединений не работает в случае, изображенном на рис. 1, 2.

### Разработка визуализатора алгоритмов лабиринтной трассировки

Программный модуль визуализации алгоритмов трассировки представляет собой приложение, пользовательский интерфейс которого имеет вид классического диалогового окна.

На рис. 4 изображено главное окно разработанного приложения, а основные его элементы пронумерованы следующим образом: 1 – выпадающий список выбора демонстрируемого алгоритма трассировки; 2 – переключатель последовательных этапов подготовки исходных данных (установка препятствий, задание соединяемых пар контактных площадок) и начала выполнения трассировки; 3 – переключатель автоматической оптимизации порядка прокладки соединений, доступный на этапе задания трасс; 4 – группа кнопок, управляющая выполнением трассировки при заданных исходных данных (пошаговое выполнение алгоритма и построение всех трасс с предъяснением окончательного результата); 5 – основная рабочая область визуализатора алгоритмов; 6 – список последовательности прокладки заданных трасс; 7 – группа кнопок для корректировки списка последовательности прокладки заданных трасс (удаление из списка выделенной трассы и обмен местами двух выделенных трасс доступны на этапе задания соединяемых пар контактных площадок).

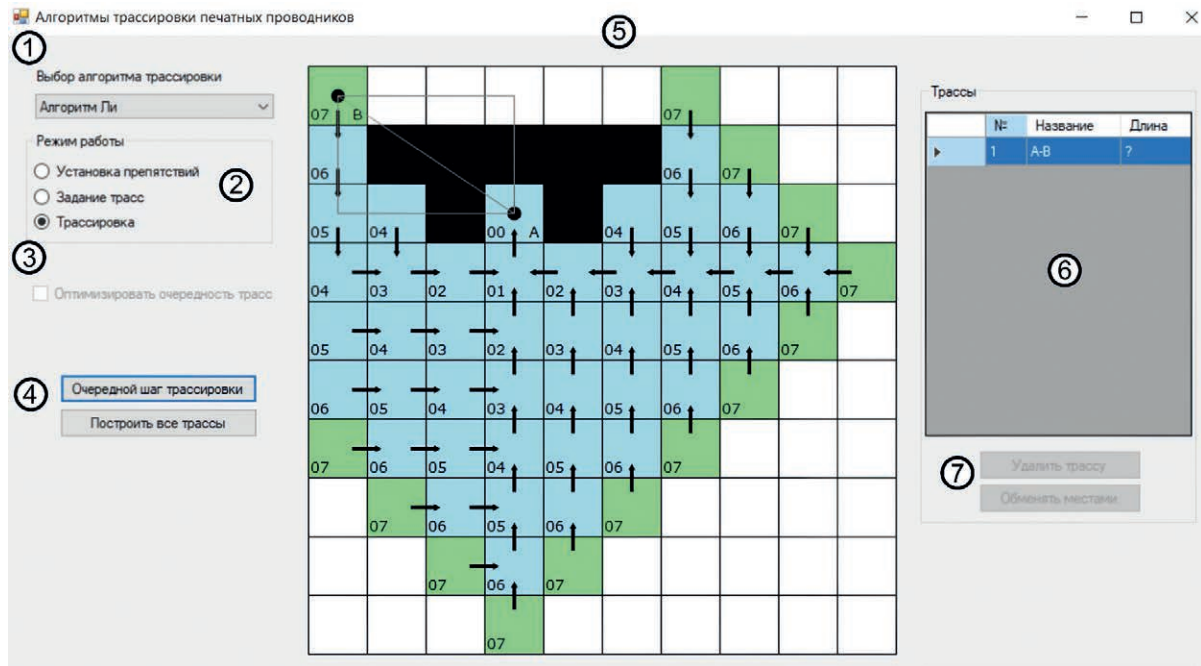


**Рис. 3.** Пример изменения длины трассы С–D в зависимости от очередности трассировки соединений А–В и С–D: *a* – сначала А–В, затем С–D; *b* – сначала С–D, затем А–В

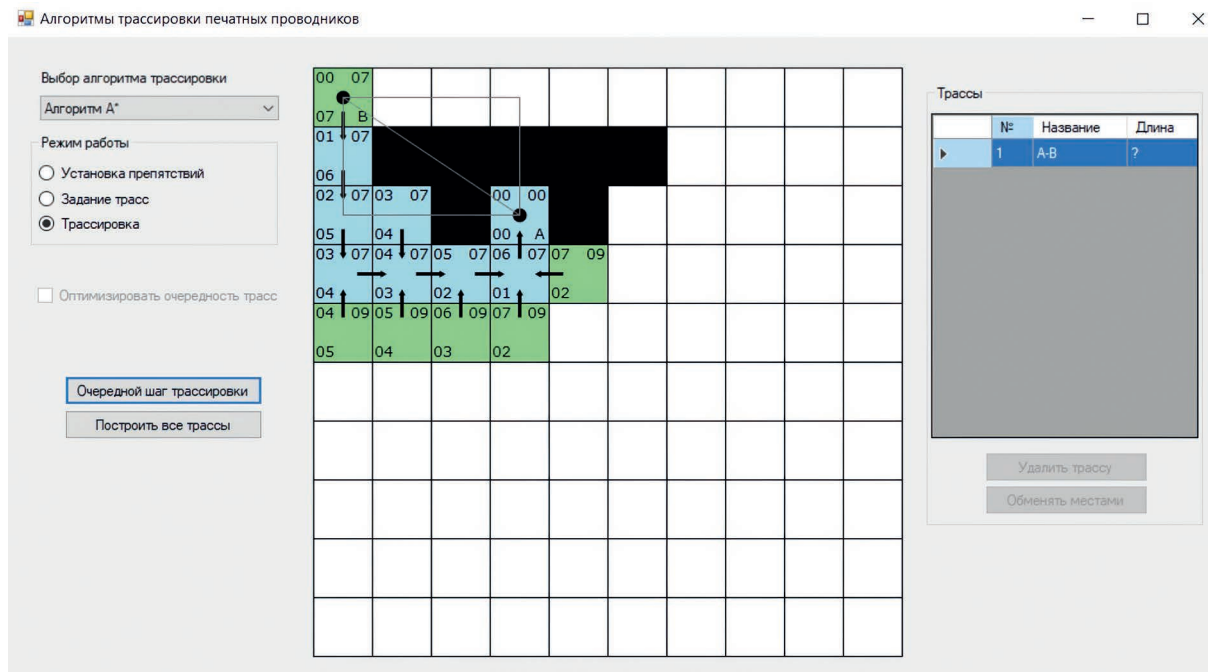
**Fig. 3.** An example of C–D wire length difference, depending on the order of A–B and C–D routing: *a* – A–B first, C–D next; *b* – C–D first, A–B next

При демонстрации алгоритма Ли (рис. 4) выполняется нумерация элементов ДРП в зависимости от исполняемого шага, цветом выделяются пограничные элементы рабочего пространства, входящие на текущем этапе алгоритма в множество  $W$ , и стрелками обозначаются их непосредственные соседи из множества  $V$ .

Демонстрация алгоритма  $A^*$  (рис. 5) наглядно показывает значительно меньшее количество обследуемых элементов ДРП по сравнению с алгоритмом Ли (рис. 4). На элементы рабочего пространства наложены значения атрибутов  $g$  (левый нижний угол),  $h$  (левый верхний угол), а также сумма их величин (правый верхний угол). Стрелками обозначены предыдущие по пути элементы, соответствующие атрибуту  $l$ .



**Рис. 4.** Графический интерфейс пользователя разработанного программного модуля визуализации алгоритмов трассировки печатных проводников  
**Fig. 4.** Graphical user interface of the developed software module for visualization of maze routing algorithms



**Рис. 5.** Пример трассировки печатного проводника алгоритмом A\*  
**Fig. 5.** An example of wire routing using the A\* algorithm

При пошаговой демонстрации алгоритмов в момент достижения конечной контактной площадки аннотированно демонстрируется построение кратчайшего пути к начальной контактной площадке, а затем предьявляется конечный результат прокладки трассы.

На примере алгоритма A\* рис. 6, а представляет собой аннотацию построения пути от конечной контактной площадки до начальной, а рис. 6, b изображает результат прокладки трассы.

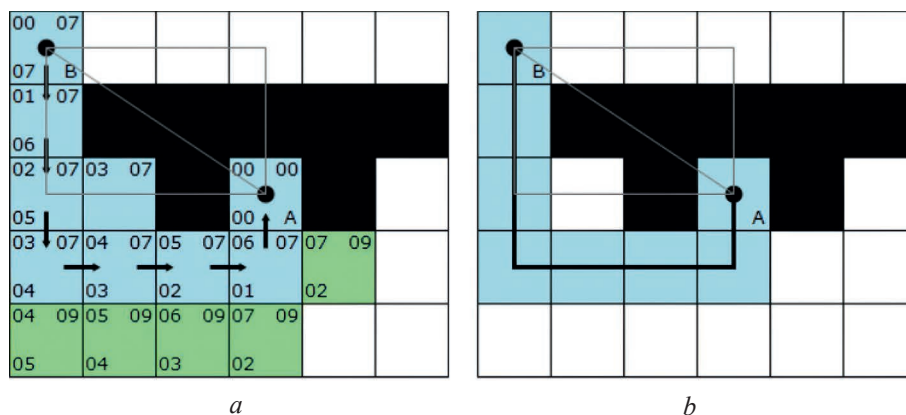


Рис. 6. Пример процесса оформления прокладки трассы: *a* – аннотация; *b* – конечный результат  
Fig. 6. An example of annotated wire routing: *a* – annotation; *b* – final result

### Заключение

Разработанный программный модуль визуализации алгоритмов трассировки проходит опытную эксплуатацию в Брестском государственном техническом университете при чтении лекций по дисциплинам «Системы автоматизированного проектирования» и «Автоматизация проектирования вычислительных систем» для студентов четвертого курса специальностей 1-39 03 02 «Программируемые мобильные системы», 1-36 04 02 «Промышленная электроника» и 1-40 02 01 «Вычислительные машины, системы и сети», что способствует решению комплексной задачи цифровизации образовательного процесса. Очевидна необходимость расширения программного модуля визуализаторами других известных алгоритмов трассировки печатных проводников, что при условии открытости исходного кода может быть выполнено самими студентами для повышения их квалификации и степени усвоения учебного материала в рамках проводимого лабораторного практикума по указанным выше предметам.

### Список литературы

1. Моглан, Д. Дидактический потенциал использования систем визуализации алгоритмов в процессе обучения программированию / Д. Моглан // Открытое образование. 2019. Т. 23, № 2. С. 31–41.
2. Цехан, О. Б. Обучающая программа – визуализатор алгоритма направленного перебора по векторной решетке / О. Б. Цехан // Информатизация образования – 2012: педагогические основы разработки и использования электронных образовательных ресурсов: матер. Междунар. науч. конф., Минск, 24–27 окт. 2012 г. Минск: БГУ, 2012. С. 79–83.
3. Казаков, М. А. Разработка логики визуализаторов алгоритмов на основе конечных автоматов / М. А. Казаков, Г. А. Корнеев, А. А. Шальто // Телекоммуникации и информатизация образования. 2003. № 6. С. 27–58.
4. Веренич, И. Ю. Планарные и координатные трассировщики на практике / И. Ю. Веренич, Ю. В. Лысенко // Вестник ЮУрГУ. 2011. № 2. С. 30–33.
5. Бершадский, А. М. Алгоритм улучшения трассировки печатных плат / А. М. Бершадский, П. А. Гудков, Е. М. Подмарькова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 3. С. 80–90.
6. Lee, C. Y. An Algorithm for Path Connections and its Applications / C. Y. Lee // IRE Transactions on Electronic Computers. 1961. No 10. P. 346–365.
7. Rubin, F. The Lee Path Connection Algorithm / F. Rubin // IEEE Transactions on Computers. 1974. Vol. C-23, No 9. P. 907–914.
8. Moore, E. F. The Shortest Path Through a Maze / E. F. Moore // Proc. International Symposium on the Theory of Switching. USA: Harvard University Press, 1959. P. 285–292.
9. Hart, P. E. A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Path / P. E. Hart, N. J. Nilsson, B. Raphael // IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics. 1968. Vol. 4, No 2. P. 100–107.
10. Clow, G. W. A Global Routing Algorithm for General Cells / G. W. Clow // 21<sup>st</sup> Design Automation Conference Proceedings, June 25, 1984. P. 45–51.
11. Yuan, C. ASA-routing: a-Star Adaptive Routing Algorithm for Network-on-Chips / C. Yuan, J. Xiang // 18<sup>th</sup> International Conference, ICA3PP 2018, Proceedings, Part II, Guangzhou, China, Nov. 15–17, 2018. P. 187–198.
12. Chen, Huang-Yu. Global and Detailed Routing / Huang-Yu Chen, Yao-Wen Chang // Electronic Design Automation. Boston: Morgan Kaufmann, 2009. Chapter 12. P. 687–749.

## References

1. Moglan D. (2019) The Didactic Potential of Using Algorithm Visualization Systems in the Process of Programming Teaching. *Otkrytoe Obrazovanie* [Open Education]. 23 (2), 31–41 (in Russian).
2. Tsehan O. B. (2012) Educational Visualizer Software for Directed Search Algorithm on Vector Lattice. *Informatizaciya Obrazovaniya – 2012: Pedagogicheskie Osnovy Razrabotki i Ispol'zovaniya Elektronnyh Obrazovatel'nyh Resursov: Mater. Mezhdunar. Nauch. Konf.* [Informatization of Education – 2012: Pedagogical Foundations for the Development and Use of Electronic Educational Resources: Materials of International Scientific Conference]. Minsk, Oct. 24–27, 2012. Minsk, Belarussian State University. 79–83 (in Russian).
3. Kazakov M. A., Korneev G. A., Shalyto A. A. (2003) Development of the Logic of Algorithms Visualizers Based on Finite State Machines. *Telekommunikacii i Informatizaciya Obrazovaniya* [Telecommunications and Informatization of Education]. (6), 27–58 (in Russian).
4. Verenich I. U., Lysenko U. V. (2011) Planar and Coordinate Tracers in Practice. *Vestnik Uzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta* [Bulletin of South Ural State University]. (2), 30–33 (in Russian).
5. Bershadskij A. M., Gudkov P. A., Podmar'kova E. M. (2021) PCB Routing Improvement Algorithm. *Modeli, Sistemy, Seti v Ekonomike, Tekhnike, Prirode i Obshchestve* [Models, Systems, Networks in Economics, Technology, Nature and Society]. (3), 80–90 (in Russian).
6. Lee C. Y. (1961) An Algorithm for Path Connections and its Applications. *IRE Transactions on Electronic Computers*. (10), 346–365.
7. Rubin F. (1974) The Lee Path Connection Algorithm. *IEEE Transactions on Computers*. C-23 (9), 907–914.
8. Moore E. F. (1959) The Shortest Path Through a Maze. *Proc. International Symposium on the Theory of Switching*. USA, Harvard University Press. 285–292.
9. Hart P. E., Nilsson N. J., Raphael B. (1968) A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Path. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*. 4 (2), 100–107.
10. Clow G. W. (1984) A Global Routing Algorithm for General Cells. *21<sup>st</sup> Design Automation Conference Proceedings, June 25*. 45–51.
11. Yuan C., Xiang J. (2018) ASA-Routing: a-Star Adaptive Routing Algorithm for Network-on-Chips. *18<sup>th</sup> International Conference, ICA3PP 2018, Proceedings, Part II, Guangzhou, China, Nov. 15–17*. 187–198.
12. Chen Huang-Yu, Chang Yao-Wen (2009) Global and Detailed Routing. *Electronic Design Automation*. Boston, Morgan Kaufmann. Chapter 12. 687–749.

## Сведения об авторе

**Петров Д. О.**, к. т. н., доцент кафедры ЭВМ и системы Брестского государственного технического университета.

## Адрес для корреспонденции

224017, Республика Беларусь,  
г. Брест, ул. Московская, 267  
Брестский государственный  
технический университет  
Тел. +375 29 523-87-23  
E-mail: polegdo@gmail.com  
Петров Дмитрий Олегович

## Information about the author

**Petrov D. O.**, Cand. of Sci., Associate Professor of the Computer and Computer Sciences Department of Brest State Technical University.

## Address for correspondence

224017, Republic of Belarus,  
Brest, Moskovskaya St., 267  
Brest State Technical University  
Tel. +375 29 523-87-23  
E-mail: polegdo@gmail.com  
Petrov Dmitriy Olegovich



## КОНФЕРЕНЦИИ 2023

учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»  
[www.science.bsuir.by](http://www.science.bsuir.by)

### **Международный научно-технический семинар «Технологии передачи и обработки информации»**

30 марта – 25 апреля 2023 г.

✉ [kafikt@bsuir.by](mailto:kafikt@bsuir.by)

☎ +375 17 293 84 08

🌐 <https://www.bsuir.by/ru/kaf-ikt/mezhdunarodnyy-nauchno-tehnicheskij-seminar>

### **Международная научно-техническая конференция «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем OSTIS-2023»**

апрель 2023 г.

✉ [ostisconf@gmail.com](mailto:ostisconf@gmail.com)

☎ +375 17 293 23 24

🌐 <http://conf.ostis.net/>

### **59-я научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР**

апрель 2023 г.

✉ [studnauka@bsuir.by](mailto:studnauka@bsuir.by)

☎ +375 17 293 84 10

### **IX Международная научно-практическая конференция Big Data and Advanced Analytics**

май 2023 г.

✉ [info@bigdataminsk.by](mailto:info@bigdataminsk.by)

☎ +375 17 293 20 80

🌐 <http://bigdataminsk.bsuir.by/>

### **V Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы профессионального образования»**

май 2023 г.

✉ [shatalova@bsuir.by](mailto:shatalova@bsuir.by)

☎ +375 17 361 62 85

🌐 <https://www.mrk-bsuir.by/ru/content/konferenciya/>

### **XXI Белорусско-Российская научно-техническая конференция «Технические средства защиты информации»**

июнь 2023 г.

✉ [tszi@bsuir.by](mailto:tszi@bsuir.by)

☎ +375 17 293 23 08

### **Международная научно-техническая конференция «Мониторинг техногенных и природных объектов»**

октябрь 2023 г.

✉ [lapan@bsuir.by](mailto:lapan@bsuir.by)

☎ +375 17 293 23 88

🌐 <https://monitoring.bsuir.by/>

### **XIII Международная научная конференция «Информационные технологии и системы ИТС-2023»**

ноябрь 2023 г.

✉ [its-conf@bsuir.by](mailto:its-conf@bsuir.by)

☎ +375 17 293 86 64

🌐 <https://its.bsuir.by/>

### **Международная конференция «Непрерывное профессиональное образование лиц с особыми потребностями»**

декабрь 2023 г.

✉ [irina\\_sidorchuk@bsuir.by](mailto:irina_sidorchuk@bsuir.by)

☎ +375 17 241 66 64

🌐 <https://iti.bsuir.by/conference>