

## **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

**Вадим Анатольевич Богущ**, д. ф.-м. н., профессор,  
ректор Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

## Редакционный совет

**Листопад Н. И.**, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, – заместитель главного редактора;

**Беляцкая Т. Н.**, д. э. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, – заместитель главного редактора;

**Певнева Н. А.**, к. т. н., доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, – ответственный секретарь редакционной коллегии;

**Сафонов В. Г.**, д. ф.-м. н., профессор, директор, Институт математики Национальной академии наук Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь;

**Байнев В. Ф.**, д. э. н., к. т. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь;

**Ковалев М. М.**, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, д. ф.-м. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь;

**Курбацкий А. Н.**, Заслуженный деятель науки Республики Беларусь, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь;

**Хацкевич Г. А.**, д. э. н., профессор, Институт бизнеса Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь;

**Голенков В. В.**, д. т. н., профессор, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь;

**Быков А. А.**, д. э. н., профессор, Белорусский государственный экономический университет, г. Минск, Республика Беларусь;

**Сирота А. А.**, чл.-кор. Международной академии информатизации, д. т. н., профессор, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация;

**Малинецкий Г. Г.**, д. ф.-м. н., профессор, Институт прикладной математики имени М. В. Келдыша Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация;

**Глухов В. В.**, д. э. н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

**Плотников В. А.**, д. э. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный экономический университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

**Касумов В. А.**, д. т. н., профессор, Азербайджанский технический университет, г. Баку, Азербайджанская Республика;

**Ордуна-Мале Э.**, д. инф. н., доцент, Технический университет Валенсии, г. Валенсия, Испания;

**Дземида Г.**, действительный член Академии наук Литвы, д. т. н., профессор, Вильнюсский университет, г. Вильнюс, Литовская Республика.

Ответственный секретарь Т. В. Мироненко

---

Подписано в печать 01.12.2023. Формат бумаги 60×84½. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.  
Усл. печ. л. 8,6. Уч.-изд. л. 8,4. Тираж 60 экз. Заказ 243.

Адрес редакции: ул. П. Бровки, 6, к. 329а, г. Минск, 220013, Республика Беларусь

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Тел.: +375 17 293-88-41. [dig.tr@bsuir.by](mailto:dig.tr@bsuir.by); <http://dt.bsuir.by>

---

Отпечатано в БГУИР. ЛП № 02330/264 от 24.12.2020.

220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Индекс для индивидуальной подписки 75057. Индекс для ведомственной подписки 750572

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2023

# DIGITAL TRANSFORMATION

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

The publication previously came out under the title “Informatization of Education”.

In 2017 the journal was reregistered  
as “Digital Transformation”, ISSN 2522-9613

## Editor-in-Chief

**Vadim Bogush**, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor,  
Rector of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

## Editorial Board

**Listopad N.**, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Deputy Chief Editor;

**Beliatskaya T.**, Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Deputy Chief Editor;

**Pevneva N.**, Cand. of Sci., (Tech.), Associate Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus – Executive Secretary of the Editorial Board;

**Safonov V.**, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Director, Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus;

**Baynev V.**, Dr. of Sci. (Econ.), Cand. of Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;

**Kovalev M.**, Honored Scientist of the Republic of Belarus, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;

**Kurbatski A.**, Honored Scientist of the Republic of Belarus, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;

**Khatskevich G.**, Dr. of Sci. (Econ.), Professor, School of Business of Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus;

**Golenkov V.**, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus;

**Bykau A.**, Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Belarus State Economic University, Minsk, Republic of Belarus;

**Sirota A.**, Corresponding member of International Informatization Academy, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation;

**Malinetskiy G.**, Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Professor, Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;

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

**Plotnikov V.**, Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Saint Petersburg State University of Economics, Saint Petersburg, Russia;

**Gasimov V.**, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Azerbaijan Technical University, Baku, Republic of Azerbaijan;

**Orduna-Malea E.**, Dr. of Sci. (Inform.), Assistant Professor, Technical University of Valencia, Valencia, Spain;

**Dzemyda G.**, Full member of the Lithuanian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Vilnius University, Vilnius, Republic of Lithuania.

Responsible Secretary T. Mironenka

---

Signed for printing 01.12.2023. Format 60×84 ¼. Office paper. Printed on a risograph. Type face Times.  
Ed.-pr. l. 8,6. Ed.-ed. l. 8,4. Edition 60 copies. Order 243.

Editorial Address: P. Brovki St., 6, Off. 329a, Minsk, 220013, Republic of Belarus  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
Tel.: +375 17 293-88-41. [dig.tr@bsuir.by](mailto:dig.tr@bsuir.by); <http://dt.bsuir.by>

---

Printed in BSUIR. License LP No 02330/264 from 24.12.2020.  
220013, Minsk, P. Brovki St., 6

Founder – Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”  
Index for individual subscription 75057. Index for departmental subscription 750572

© Educational Establishment “Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics”, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Т. 29, № 4, 2023

### *Экономические науки, образование*

<b>Новикова И. В., Смелова В. В., Томко А. Д.</b> Балансовый метод планирования производства продукции инновационно-промышленным кластером .....	5
<b>Зубрицкая И. А.</b> Методика оценки глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы и темпа его роста на основе модели межотраслевого баланса .....	15
<b>Мищенко А. С.</b> Методика оценки уровня цифровизации строительной отрасли .....	23
<b>Костюкова Е. Н.</b> Валюта и ее эволюция в условиях цифровой трансформации .....	34

### *Технические науки*

<b>Герасимов В. А., Бойправ О. В.</b> Алгоритм разработки и методика использования в учебном процессе программного средства для преобразования информации .....	41
<b>Толох И. О., Михневич С. Ю., Сенкевич А. Ю.</b> Сервис для проверки сертификатов электронных документов .....	50
<b>Андрейчук О. Н., Листопад Н. И.</b> Метод и алгоритм для обработки изображений больших объемов .....	58
<b>Осипов А. Н., Ролич О. Ч., Ключев А. П., Владимцев В. Д., Мигалевич С. А., Хазановский И. О.</b> Алгоритм измерения частоты сердечных сокращений в системах мониторинга функционального состояния человека .....	66

## CONTENTS

V. 29, No 4, 2023

### *Economic Sciences, Education*

<b>Novikova I. V., Smelova V. V., Tomko A. D.</b> Balance Method for Planning Production by an Innovation and Industrial Cluster .....	5
<b>Zubritskaya I. A.</b> Methodology for Assessing the Global Aggregate Demand for Digital Resources and Its Growth Rate Based on the Intersectoral Balance Model .....	15
<b>Mishchenko A. S.</b> Methodology for Assessing the Level of Digitalization of the Construction Industry .....	23
<b>Kostyukova H. N.</b> Currency and Its Evolution in the Conditions of Digital Transformation .....	34

### *Technical Sciences*

<b>Gerasimov V. A., Boyprav O. V.</b> Algorithm of Development and Methodology of Using Software for Information Conversion in the Educational Process .....	41
<b>Tolokh I. O., Mikhnevich S. Yu., Siankevich A. Yu.</b> Service for Verification of Electronic Document's Certificates .....	50
<b>Andreichuk O. N., Listopad N. I.</b> Method and Algorithm for Processing Large Volume Images ..	58
<b>Osipov A. N., Rolich O. Ch., Kluev A. P., Vladymtsev V. D., Migalevich S. A., Khazanovsky I. O.</b> Heart Rate Measurement Algorithm in the Monitoring System of Human Body Condition .....	66



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-5-14>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 004.622

## БАЛАНСОВЫЙ МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ИННОВАЦИОННО-ПРОМЫШЛЕННЫМ КЛАСТЕРОМ

И. В. НОВИКОВА, В. В. СМЕЛОВА, А. Д. ТОМКО

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

*Поступила в редакцию 23.03.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Рассмотрена задача планирования валового объема продукции, производимой участниками инновационно-промышленного кластера (объединение субъектов хозяйствования с целью повышения эффективности совместной деятельности) на основе балансовой модели Леонтьева. Применение модели продемонстрировано на примере гипотетического инновационно-промышленного кластера, участники которого производят продукцию, взаимодействуют между собой и осуществляют инновационную деятельность. Результатом решения задачи является план валового объема конечной и промежуточной продукции, производимой участниками кластера. Рассмотрены примеры решения задачи планирования. Приведены результаты вычислительного эксперимента, позволяющие оценить трудоемкость вычисления плана.

**Ключевые слова:** инновационно-промышленный кластер, цифровая платформа, планирование производства продукции, балансовая модель Леонтьева.

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

**Для цитирования.** Новикова, И. В. Балансовый метод планирования производства продукции инновационно-промышленным кластером / И. В. Новикова, В. В. Смелова, А. Д. Томко // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 5–14. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-5-14>.

## BALANCE METHOD FOR PLANNING PRODUCTION BY AN INNOVATION AND INDUSTRIAL CLUSTER

IRINA V. NOVIKOVA, VALERIA V. SMELOVA, ANASTASIA D. TOMKO

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

*Submitted 23.03.2023*

**Abstract.** The article is devoted to the problem of planning the gross volume produced by the participants of the innovation-industrial cluster (association of business entities in order to increase the efficiency of joint activities) based on the Leontiev balance model. The application of the model is considered on the example of a hypothetical innovation-industrial cluster, whose members produce products and carry out innovative activities. The result of solving the problem is a plan for the gross volume of final and intermediate products produced by cluster members. Examples of solving the planning problem are considered. The results of a computational experiment are presented, which make it possible to estimate the complexity of calculating the plan.

**Keywords:** innovative industrial cluster, digital platform, production planning, Leontiev balance model.

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

**For citation.** Novikova I. V., Smelova V. V., Tomko A. D. (2023) Balance Method for Planning Production by an Innovation and Industrial Cluster. *Digital Transformation*. 29 (4), 5–14. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-5-14> (in Russian).

## Введение

Инновационно-промышленный кластер (ИПК) – объединение субъектов хозяйствования с целью их эффективного взаимодействия и совместного устойчивого развития на основе включения в структуру отношений между предприятиями крупных научно-исследовательских и опытно-экспериментальных центров и учреждений образования, обеспечивающих в совокупности создание единой технологической цепочки по созданию, производству и выводу на рынок высокотехнологичного инновационного продукта. Цель деятельности инновационно-промышленных кластеров заключается в стимулировании инновационной активности путем углубления взаимодействия между участниками, которые делятся возможностью обмена теоретическими и практическими знаниями, тем самым внося серьезный вклад в развитие выбранной технологии, усиливая сетевое и информационное взаимодействие внутри участников кластера. Данный кластер предназначен для ускорения процессов в цепочке инновация-технология-производство-прибыль. Структуру инновационно-промышленного кластера составляют следующие субъекты-организации:

– производящие и реализующие инновации крупные, средние и малые предприятия: на этапе формирования кластера новых технологий предприятия-производства могут находиться в стадии создания, в стадии зрелости предприятия-производители могут иметь сложившуюся систему связей между собой;

– обеспечивающие условия осуществления инновационной деятельности: бизнес-инкубаторы, технопарки, венчурные фонды, центры инновационного развития, научно-исследовательские и образовательные учреждения и др.;

– оказывающие сопутствующие инновационным процессам услуги: инжиниринговые, кредитные, страховые, аудиторские, консалтинговые и т. д.

В условиях цифровизации экономики важной компонентой кластера становится цифровая платформа. В [1] предложена концепция цифровой платформы инновационно-промышленного кластера (ЦППК), являющаяся компонентой специализированной инфраструктуры кластерного развития, предназначенная для поддержки деятельности кластера на протяжении всего его жизненного цикла и инструментария. Создание ЦППК позволит формулировать и решать принципиально новые задачи, повышающие эффективность деятельности субъектов хозяйствования – участников ИПК. В частности, рассмотрение проблем организации многостороннего клиринга дает возможность предложить данный инструмент в качестве метода взаиморасчетов между участниками кластера [2].

В статье рассматривается еще одна задача, которая может быть решена в рамках ЦППК – планирование валового объема производимой участниками ИПК продукции. В качестве основы для решения этой задачи предлагается применить балансовый метод Леонтьева [3]. В соответствии с данным методом вычисление валового объема продукции взаимодействующих в рамках ИПК субъектов хозяйствования сводится к решению матричного уравнения  $(\mathbf{E} - \mathbf{A})\bar{X} = \bar{Y}$ , где  $\mathbf{E}$  – единичная матрица;  $\mathbf{A}$  – матрица технологических коэффициентов;  $\bar{Y}$  – планируемый выпуск конечной продукции. При известных  $\mathbf{A}$  и  $\bar{Y}$  решением уравнения является вектор-столбец, элементы которого – искомые плановые валовые объемы продукции:

$$\bar{X} = (\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1}\bar{Y}. \quad (1)$$

## Решение задачи планирования валового объема продукции

Рассмотрим систему  $B \equiv \langle C, P, A, Y \rangle$ , где  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$  – перечень участников ИПК;  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$  – номенклатура продукции, производимой участниками ИПК;  $R = \{r_i\}_h$  – бинарное отношение  $R \subseteq CP$ , элементы которого  $r_i = \langle c_k, p_s \rangle$ ,  $i = \overline{1, h}$ ,  $1 \leq k \leq n$ ,  $1 \leq s \leq m$  (далее – продукты  $r_i$ ) соответствуют продукции  $p_s \in P$ , выпускаемой участниками  $c_k \in C$ ;  $\mathbf{A} = \{a_{i,j}\}_h$  – квадратная матрица размерности  $h$ , каждый элемент  $a_{i,j}$  которой отражает количество продук-

та  $r_j$ , необходимого для производства продукта  $r_i$ ;  $\bar{Y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_h \end{pmatrix}$  – вектор-столбец, элементы  $y_i$ ,  $i = \overline{1, h}$

которого равны величине планируемого выпуска продукта  $r_i$ ,  $i = \overline{1, h}$ , для внешних потребителей.

На рис. 1–3 представлен пример описания модели  $B$  гипотетического ИПК с именем  $ABC$ , включающего семь участников (множество  $C$ ) и производящего продукцию восьми наименований (множество  $P$ ). Стрелками на рис. 1 соединены участники  $ABC$  с выпускаемой ими продукцией (отношение  $R$ ). Каждая стрелка соответствует одному продукту.



Рис. 1. Пример построения множеств  $C$ ,  $P$  и отношения  $R$  модели  $S$

Fig. 1. An example of constructing sets  $C$ ,  $P$  and relation  $R$  of model  $S$

Будем предполагать, что взаимодействие участников кластера  $ABC$  осуществляется в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

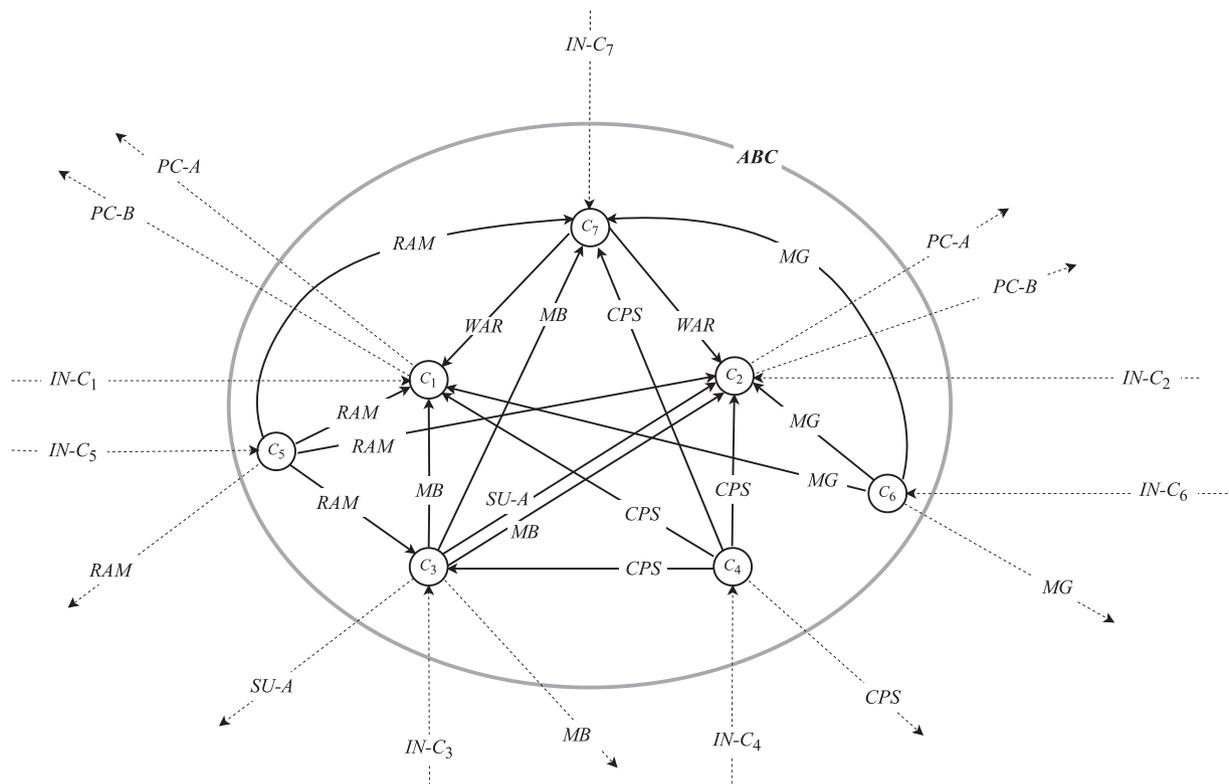


Рис. 2. Пример схемы взаимодействия участников кластера

Fig. 2. An example of a diagram of interaction between cluster participants

Внешний контур на рис. 2 очерчивает границу кластера  $ABC$ , а помеченные внутри контура окружности обозначают участников ИПК. Сплошные стрелки указывают движение продукции

между участниками кластера. Направленные за пределы внешнего контура штриховые стрелки обозначают поставку продукции внешним потребителям, а обратные – поступление продукции от внешних поставщиков. Наименование продукции, поступающей от внешних поставщиков, имеет префикс *IN*, движение этой продукции в модели *B* не учитывается. Продолжая рассматривать пример о кластере *ABC*, зададим матрицу **A** и вектор  $\bar{Y}$  модели *B* (рис. 3).

Продукт	A										
	<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-A</i>	<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-B</i>	<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-A</i>	<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-B</i>	<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>SU-A</i>	<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>MB</i>	<i>C</i> <sub>4</sub> / <i>CPS</i>	<i>C</i> <sub>5</sub> / <i>RAM</i>	<i>C</i> <sub>6</sub> / <i>MG</i>	<i>C</i> <sub>7</sub> / <i>WAR</i>	
<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-A</i>											
<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-B</i>											
<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-A</i>											
<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-B</i>											
<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>SU-A</i>			1								
<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>MB</i>	1	1		1	1					0,001	
<i>C</i> <sub>4</sub> / <i>CPS</i>	1	1		1	1					0,01	
<i>C</i> <sub>5</sub> / <i>RAM</i>	2	4		4	2					0,001	
<i>C</i> <sub>6</sub> / <i>MG</i>	1	1	1	1						0,005	
<i>C</i> <sub>7</sub> / <i>WAR</i>	1	1	1	1							

$\bar{Y}$	
Продукт	Выпуск продукта
<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-A</i>	10000
<i>C</i> <sub>1</sub> / <i>PC-B</i>	15000
<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-A</i>	20000
<i>C</i> <sub>2</sub> / <i>PC-B</i>	10000
<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>SU-A</i>	5000
<i>C</i> <sub>3</sub> / <i>MB</i>	1000
<i>C</i> <sub>4</sub> / <i>CPS</i>	2000
<i>C</i> <sub>5</sub> / <i>RAM</i>	10000
<i>C</i> <sub>6</sub> / <i>MG</i>	5000
<i>C</i> <sub>7</sub> / <i>WAR</i>	0

**Рис. 3.** Пример построения матрицы **A** и вектора  $\bar{Y}$   
**Fig. 3.** An example of constructing **A** matrix and a  $\bar{Y}$  vector

Рассмотрим столбец матрицы **A** с меткой *C*<sub>2</sub>/*PC-A*, описывающий перечень и количество комплектующих (производимых участниками ИПК), входящих в состав продукта. *C*<sub>2</sub>/*PC-A* – персональный компьютер типа *A* (производимый участником *C*<sub>2</sub>): один системный блок типа *A* (*C*<sub>3</sub>), один монитор (*C*<sub>6</sub>) и одна услуга по гарантийному обслуживанию (*C*<sub>7</sub>). Заметим, что в таблице рис. 3 (в матрице **A**) отображены только компоненты, производимые участниками ИПК. В общем случае состав комплектующих продукта *C*<sub>2</sub>/*PC-A* может быть значительно шире, но в исследуемом варианте эти комплектующие не производятся участниками кластера и поэтому не рассматриваются в модели *B*. Смысл значений элементов строк матрицы **A** поясним на примере строки *C*<sub>3</sub>/*MB* (*C*<sub>3</sub>/*MB* – материнская плата, произведенная участником *C*<sub>3</sub>). Значения элементов строки *C*<sub>3</sub>/*MB* равны количеству материнских плат, входящих в соответствующие столбцам продукты. Например, при изготовлении каждой единицы продуктов *C*<sub>1</sub>/*PC-A*, *C*<sub>1</sub>/*PC-B*, *C*<sub>2</sub>/*PC-B* и *C*<sub>3</sub>/*SU-A* используется по одному продукту *C*<sub>3</sub>/*MB*, а на каждые 1000 выданных гарантий *C*<sub>7</sub>/*WAR* участник *C*<sub>7</sub> приобретает одну материнскую плату. На рис. 3 вектором  $\bar{Y}$  задается планируемый выпуск продуктов для внешних потребителей.

Пример решения уравнения баланса (1) по определению валового объема  $\bar{X}$  произведенных кластером *ABC* продуктов приведен на рис. 4.

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,001 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,01 \\ 2 & 4 & 0 & 4 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,001 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,005 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 10000 \\ 15000 \\ 20000 \\ 10000 \\ 5000 \\ 1000 \\ 2000 \\ 10000 \\ 5000 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \\ x_9 \\ x_{10} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 10000 \\ 15000 \\ 20000 \\ 10000 \\ 5000 \\ 1000 \\ 2000 \\ 10000 \\ 5000 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Продукт	Валовой объем
$C_1 / PC-A$	10000
$C_1 / PC-B$	15000
$C_2 / PC-A$	20000
$C_2 / PC-B$	10000
$C_3 / SU-A$	25000
$C_3 / MB$	61055
$C_4 / CPS$	62550
$C_5 / RAM$	180165
$C_6 / MG$	60275
$C_7 / WAR$	55000

Рис. 4. Пример решения уравнения баланса  
Fig. 4. An example of solving the balance equation

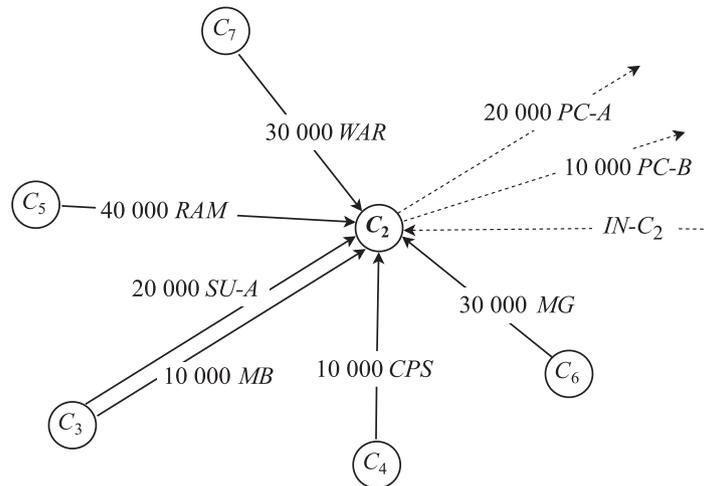
Перемножив элементы строк матрицы  $A$  на соответствующие элементы вектора  $\vec{X}$ , получим планируемые валовые объемы продуктов, перемещаемых между участниками кластера  $ABC$  (рис. 5).

Продукт	$C_1 / PC-A$	$C_1 / PC-B$	$C_2 / PC-A$	$C_2 / PC-B$	$C_3 / SU-A$	$C_3 / MB$	$C_4 / CPS$	$C_5 / RAM$	$C_6 / MG$	$C_7 / WAR$	$Y$	$X$	$X-Y$
$C_1 / PC-A$											10000	10000	
$C_1 / PC-B$											15000	15000	
$C_2 / PC-A$											20000	20000	
$C_2 / PC-B$											10000	10000	
$C_3 / SU-A$			20000								5000	25000	20000
$C_3 / MB$	10000	15000		10000	25000					55	1000	61055	60055
$C_4 / CPS$	10000	15000		10000	25000					550	2000	62550	60055
$C_5 / RAM$	20000	60000		40000	50000					165	10000	180165	170165
$C_6 / MG$	10000	15000	20000	10000						275	5000	60275	55275
$C_7 / WAR$	10000	15000	20000	10000								55000	55000

Рис. 5. Валовые объемы перемещаемых в кластере продуктов  
Fig. 5. Gross volumes of products moved in the cluster

Рассмотрим схему плана перемещения продукции для участника  $C_2$  (рис. 6). Схема построена на основе двух столбцов и двух строк с метками  $C_2/PC-A$  и  $C_2/PC-B$  таблицы на рис. 5. Столбцы содержат планируемые валовые объемы продуктов, поступающих участнику  $C_2$  в качестве комплектующих, а строки – валовые объемы продуктов, планируемых к производству самим участником  $C_2$ . При этом значения в столбце  $Y$  равны объемам продукта, отправляемого участни-

ком  $C_2$  за пределы кластера, а в столбце  $X-Y$  приведен объем продуктов, произведенных участником  $C_2$  для других участников кластера. На схеме рис. 6 видно, что участник  $C_2$  планирует произвести 20 000 персональных компьютеров типа  $A$  ( $PC-A$ ) и 10 000 персональных компьютеров типа  $B$  ( $PC-B$ ), при этом потребители этой продукции находятся за пределами кластера. Для производства своей продукции участник  $C_2$  планирует получить: от  $C_3$  20 000 системных блоков  $SU-A$  и 10 000 материнских плат  $MB$ , от  $C_4$  – 10 000 корпусов с блоком питания  $CPS$ , от  $C_5$  – 40 000 микросхем оперативной памяти  $RAM$ , от  $C_6$  – 30 000 мониторов  $MG$  и от  $C_7$  – 30 000 гарантийных талонов для персональных компьютеров.



**Рис. 6.** Схема плана перемещения продукции для участника  $C_2$  кластера  $ABC$   
**Fig. 6.** Scheme of the product movement plan for participant  $C_2$  of the  $ABC$  cluster

Основным признаком инновационно-промышленного кластера является наличие в его составе участников ИПК, специализирующихся на разработке инновационных продуктов и/или технологий. Рассмотрим один из возможных сценариев инновационной деятельности участников ИПК и планирование их взаимодействия с помощью балансовой модели.

Будем предполагать, что в составе гипотетического ИПК  $ABC$  появился новый участник  $C_8$ , специализирующийся на разработке архитектуры серверного оборудования вычислительных систем. Участник  $C_8$  имеет только опытное производство, не предназначенное для массового выпуска продукции, поэтому было принято решение о размещении на предприятии  $C_2$  заказа о производстве 500 серверов типа  $SRV$ . Каждый сервер  $SRV$  (далее – продукт  $C_2/SRV$ ) хотя и изготавливается из однотипных компонентов, но имеет специфические особенности, обусловленные требованиями заказчика. Это приводит к необходимости выполнения дополнительных работ, связанных с конструкторскими решениями, доводкой и настройкой оборудования, установкой дополнительного программного обеспечения, нагрузочным тестированием и т. п. Предполагается, что дополнительные работы будут проводиться силами  $C_2$  на основе технологий, которые будут ему переданы (в качестве инвестиции) предприятием  $C_8$ . При этом бесконтрольное распространение переданных технологий будет ограничиваться с помощью лицензионных соглашений, выданных  $C_8$  для правомочного использования продукта  $C_2/SRV$  конечным пользователем.

На рис. 7 приведены содержимое матрицы  $A$  и вектора  $\bar{Y}$ , отражающих промежуточное и конечное потребление продуктов после добавления участника  $C_8$ , использующего инфраструктуру кластера  $ABC$  для производства инновационного продукта  $C_2/SRV$ . Строки и столбцы, отражающие внутреннее и внешнее потребление новых продуктов, выделены серым цветом. В табл. 1 пояснены используемые на рис. 7 обозначения новой продукции.

На рис. 8 приведены таблицы с валовыми объемами продуктов, перемещаемых в кластере  $ABC$  и применяемых для производства инновационного продукта  $C_2/SRV$ . Таблицы содержат данные только о новой продукции и дополняют таблицу, представленную на рис. 7.

На рис. 9 представлена схема перемещения продукции и инвестиций в кластере  $ABC$ , дополняющая схему, изображенную на рис. 6, данными из таблиц на рис. 8.

Продукт	$C_1 / PC-A$	$C_1 / PC-B$	$C_2 / PC-A$	$C_2 / PC-B$	$C_2 / SRV$	$C_3 / SU-A$	$C_3 / MB$	$C_3 / MB-S$	$C_3 / SU-S$	$C_4 / CPS$	$C_4 / CPS-S$	$C_5 / RAM$	$C_6 / MG$	$C_7 / WAR$	$C_8 / WAR-S$	$C_8 / LIC$	$C_8 / INV$	Выпуск продукта
$C_1 / PC-A$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000
$C_1 / PC-B$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15000
$C_2 / PC-A$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20000
$C_2 / PC-B$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000
$C_2 / SRV$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500
$C_3 / SU-A$	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5000
$C_3 / MB$	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0	0	1000
$C_3 / MB-S$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,002	0	0	0
$C_3 / SU-S$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_4 / CPS$	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0	0	0	2000
$C_4 / CPS-S$	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0,002	0	0	0
$C_5 / RAM$	2	4	0	4	0	2	0	0	16	0	0	0	0	0,003	0,002	0	0	10000
$C_6 / MG$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0	0	0	5000
$C_7 / WAR$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_8 / WAR-S$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_8 / LIC$	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$C_8 / INV$	0	0	0	0	400	0	0	100	100	0	50	0	0	0	0	0	0	0

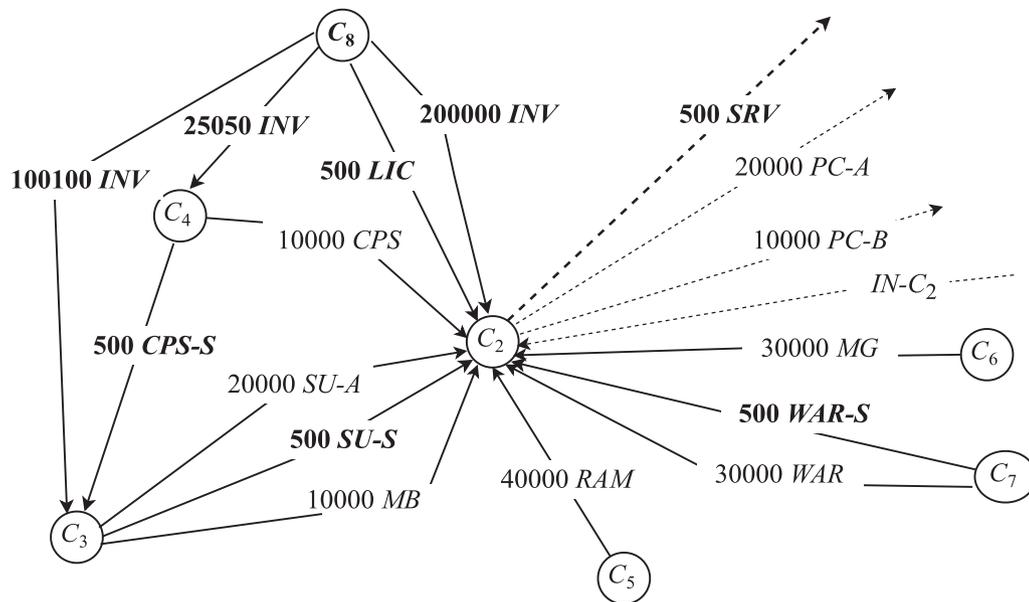
Рис. 7. Пример матрицы  $A$  и вектора  $\bar{Y}$  после добавления нового участника  $C_8$   
Fig. 7. Example of matrix  $A$  and vector  $\bar{Y}$  after adding a new participant  $C_8$

Таблица 1. Обозначение новой продукции, производимой участниками кластера  $ABC$   
Table 1. Designation of new products produced by members of the  $ABC$  cluster

Обозначение	Продукция
$SRV$	Компьютер-сервер
$SU-S$	Системный блок типа $S$
$MB-S$	Материнская плата типа $S$
$CPS-S$	Корпус системного блока с блоком питания типа $S$
$WAR-S$	Гарантия на компьютеры-серверы типа $S$
$LIC$	Лицензия на использование сервера $SRV$
$INV$	Инвестиция (в у. е.)

Продукт	$C_2 / SRV$	$C_3 / MB-S$	$C_3 / SU-S$	$C_4 / CPS-S$	$C_7 / WAR-S$	$C_8 / LIC$	$C_8 / INV$	Выпуск продукта	Валовой выпуск продукта
$C_2 / SRV$	0	0	0	0	0	0	0	500	500
$C_3 / MB-S$	0	0	500	0	1	0	0	0	501
$C_3 / SU-S$	500	0	0	0	0	0	0	0	500
$C_4 / CPS-S$	0	0	500	0	1	0	0	0	501
$C_5 / RAM$	0	0	8000	0	1	0	0	10000	188166
$C_7 / WAR-S$	500	0	0	0	0	0	0	0	500
$C_8 / LIC$	500	0	0	0	0	0	0	0	500
$C_8 / INV$	200000	50100	50000	25050	0	0	0	0	325150

Рис. 8. Валовые объемы перемещаемых в кластере новых продуктов при производстве конечного продукта  $C_2/SRV$   
Fig. 8. Gross volumes of new products moved in the cluster during the production of the final product  $C_2/SRV$



**Рис. 9.** Измененная схема плана перемещения продукции и инвестиций в кластере *ABC* при появлении нового участника  $C_8$   
**Fig. 9.** Changed diagram of the plan for moving products and investments in the *ABC* cluster when a new member  $C_8$  appears

Выделенными линиями на рис. 9 изображены новые элементы схемы. Новый участник  $C_8$  осуществляет инвестиции: 200 000 *INV* – участнику  $C_2$  для производства серверов (500  $C_2/SRV$ ); 100 100 *INV* – участнику  $C_3$  для производства новых 500 системных блоков ( $C_3/SU-S$ ) и 501 материнской платы ( $C_3/MB-S$ ); 25 050 *INV* – участнику  $C_4$  для производства 501 корпуса с блоком питания ( $C_3/SU-S$ ). Участник  $C_3$  для участника  $C_2$  производит 500 системных блоков ( $C_3/SU-S$ ), используя для этого 500 корпусов с блоком питания ( $C_4/CPS-S$ ), получаемых от участника  $C_4$ . Для каждого выпускаемого участником  $C_2$  сервера  $C_2/SRV$  инвестор  $C_8$  выдает лицензию (*LIC*), стоимость которой покрывает вложенные инвестиции и обеспечивает планируемую доходность. Гарантийное обслуживание продуктов  $C_2/SRV$  осуществляется участником  $C_7$ , который продает участнику  $C_2$  500 гарантийных талонов ( $C_7/WAR-S$ ). Следует отметить, что схема не является полной (например, не указано движение 1  $C_4/CPS-S$  из  $C_4$  в  $C_7$ , 1  $C_3/MB-S$  из  $C_3$  в  $C_7$ , внутреннее движение 501  $C_3/MB-S$  в  $C_3$ ), в том смысле, что она не отражает все движение продуктов, а призвана продемонстрировать планирование производства инновационной продукции.

Считается, что применение балансовой модели ограничивается вычислительной мощностью современных компьютерных систем, которые не позволяют рассчитать за требуемое (ограниченное) время план [4] с помощью балансового метода Леонтьева. Действительно, решение задач планирования на государственном уровне может привести к необходимости решения системы линейных уравнений размерностью в несколько тысяч. Предполагается, что применение предлагаемого метода для промышленного кластера не выведет размерность системы уравнений за 2000.

Для оценки подолжительности решения систем линейных уравнений выполнили вычислительный эксперимент. Расчеты проводили на компьютере с четырехъядерным процессором и объемом оперативной памяти 16 ГБ с применением библиотеки математических функций Math.NET Numerics [5]. В результате решения 600 построенных случайным образом систем линейных уравнений с размерностями от 100 до 2000, разреженностью матриц коэффициентов от 50 до 80 % (доля нулевых элементов) и с погрешностью решений, не превышающей  $10^{-6}$ , можно сделать следующее заключение: вычисление плана валового производства продукции с номенклатурой до 2000 ед. не превышает 16 с на компьютере средней мощности.

### Заключение

1. Одна из моделей, которая может быть использована для планирования производственной деятельности инновационно-промышленного кластера, – балансовая модель Леонтьева. С ее по-

мощью можно вычислить валовой объем производимой участниками продукции, перемещаемой внутри кластера или предназначенной для внешних потребителей. Применение балансовой модели целесообразно при глубокой кооперации участников кластера и высоком уровне замкнутости их производственной деятельности. Взаимная изолированность участников кластера и большое количество внешних связей (поставщиков и потребителей продукции) снижают эффективность планирования этим методом.

2. Применение балансовой модели Леонтьева требует глубокого понимания принципов кооперации между участниками кластера, а построение матрицы технологических коэффициентов – понимания технологии производимой продукции.

3. Балансовая модель позволяет планировать выпуск инновационной продукции, учитывать и планировать инвестиционную деятельность участников кластера.

4. В результате вычислений с помощью балансовой модели можно оценить только валовой объем продукции, который должен быть произведен каждым участником кластера для получения заданной конечной продукции. Поэтому данная модель может быть использована лишь на первом этапе планирования. Для построения календарных планов, очевидно, требуется применение методов сетевого планирования, учитывающих сроки поставки конечным потребителям продукции, технологические и производственные цепочки, производительность предприятий участников кластера, емкость складов и т. п.

5. Представленная модель может быть трансформирована в условиях интеграционных процессов для организации кросс-кластерных взаимодействий в инновационной сфере в интеграционной группировке [4].

### Список литературы

1. Концепция цифровой платформы инновационно-промышленного кластера / И. В. Новикова [и др.] // Импортозамещение, научно-техническая и экономическая безопасность: сб. ст. V Междунар. науч.-техн. конф. «Минские научные чтения – 2022», г. Минск, 7–9 декабря 2022 г., в 3 т. Минск: Белор. госуд. технолог. ун-т, 2022. Т. 2. С. 3–7.
2. Новикова, И. В. Клиринговая система взаиморасчетов между участниками инновационно-промышленного кластера / И. В. Новикова, В. В. Смелова, Д. В. Сазонова // Цифровая трансформация. 2023. 29 (3). С. 5–14. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-5-14>.
3. Ведута, Е. Н. Межотраслевой-межсекторный баланс: механизм стратегического планирования экономики / Е. Н. Ведута. М.: Академический проект, 2020. 239 с.
4. Новикова, И. В. Кросс-кластерное взаимодействие между Российской Федерацией и Республикой Беларусь: новые подходы и возможности / И. В. Новикова, Н. А. Масилевич // Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 5. Экономика и управление. 2021. Т. 244, № 1. С. 5–12. <https://doi.org/10.52065/2520-6877-2021-244-1-5-12>.
5. Math.NET Numerics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://numerics.mathdotnet.com>. Дата доступа: 05.01.2023.

### References

1. Novikova I. V., Smelova V. V., Timofeeva U. A., Shiman D. V. (2022) The Concept of the Digital Platform of the Innovation-Industrial Cluster. *Import substitution, Scientific, Technical and Economic Security, Sat. Art. V Intern. Sci.-Tech. Conf. "Minsk Scientific Readings – 2022"*, Minsk, Decem. 7–9, 2022. In 3 vol. Minsk, Belarusian State Technological University. 2, 3–7.
2. Novikova I. V., Smelova V. V., Sazonova D. V. (2023) The Clearing System of Mutual Settlements Between Participants of the Innovation-Industrial Cluster. *Digital Transformation*. 29 (3), 5–14. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-3-5-14>.
3. Veduta E. N. (2020) *Intersectoral-Intersectoral Balance: a Mechanism for Strategic Planning of the Economy*. Moscow, Academic Project Publ. 239.
4. Novikova I. V., Masilevich N. A. (2019) Cross-Cluster Interaction Between the Russian Federation and the Republic of Belarus: New Approaches and Opportunities. *Proceedings of Belarusian State Technological University. Series 5. Economics and Management*. (1), 5–12.
5. *Math.NET Numerics*. Available: <https://numerics.mathdotnet.com> (Accessed 5 January 2023).

### **Вклад авторов**

Авторы внесли равный вклад в написание статьи.

### **Authors' contribution**

The authors contributed equally to the writing of the article.

### **Сведения об авторах**

**Новикова И. В.**, д. э. н., профессор, заведующая кафедрой менеджмента, технологий бизнеса и устойчивого развития Белорусского государственного технологического университета

**Смелова В. В.**, магистрант Белорусского государственного технологического университета

**Томко А. Д.**, магистрант Белорусского государственного технологического университета

### **Адрес для корреспонденции**

220006, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Свердлова, 13а  
Белорусский государственный  
технологический университет  
Тел.: +375 17 343-94-32  
E-mail: smw@belstu.by  
Смелова Валерия Владимировна

### **Information about the authors**

**Novikova I. V.**, Dr. of Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department of Management, Business Technologies and Sustainable Development of the Belarusian State Technological University

**Smelova V. V.**, Master's Student at the Belarusian State Technological University

**Tomko A. D.**, Master's Student at the Belarusian State Technological University

### **Address for correspondence**

220006, Republic of Belarus,  
Minsk, Sverdlova St., 13a  
Belarusian State  
Technological University  
Tel.: +375 17 343-94-32  
E-mail: smw@belstu.by  
Smelova Valeria Vladimirovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-15-22>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 330.1

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ГЛОБАЛЬНОГО СОВОКУПНОГО СПРОСА НА ЦИФРОВЫЕ РЕСУРСЫ И ТЕМПА ЕГО РОСТА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА

И. А. ЗУБРИЦКАЯ

*Белорусский национальный технический университет (г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 22.06.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Выявлена актуальность научного исследования, обусловленная необходимостью улучшения методологии оценки развития мирового рынка цифровых ресурсов с целью обоснования направлений цифровизации в Республике Беларусь в современных условиях. Предложены методологические основы формирования и развития мирового рынка цифровых ресурсов, введено новое экономическое понятие «глобальный совокупный спрос на цифровые ресурсы». На основе модели межотраслевого баланса разработана методика, предложены показатели и формулы для расчета глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы и темпа его роста. Проведена апробация методики с использованием динамических рядов предлагаемых экономических показателей на основе эмпирических данных межотраслевых балансов стран-членов Организации экономического сотрудничества и развития и Республики Беларусь.

**Ключевые слова:** цифровые ресурсы, международная торговля цифровыми ресурсами, цифровая трансформация мирового хозяйства, глобальный совокупный спрос на цифровые ресурсы.

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

**Для цитирования.** Зубрицкая, И. А. Методика оценки глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы и темпа его роста на основе модели межотраслевого баланса / И. А. Зубрицкая // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 15–22. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-15-22>.

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE GLOBAL AGGREGATE DEMAND FOR DIGITAL RESOURCES AND ITS GROWTH RATE BASED ON THE INTERSECTORAL BALANCE MODEL

INESSA A. ZUBRITSKAYA

*Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 22.06.2023*

**Abstract.** The article reveals the relevance of scientific research due to the need to develop a methodology for assessing the development of the global digital resources market in order to substantiate the digital development of the Republic of Belarus in modern conditions. Methodological foundations for the formation and development of the global digital resources market are proposed, a new economic concept “Global Aggregate Demand for Digital Resources” is introduced. Based on the intersectoral balance model, a methodology has been developed, indicators and formulas have been proposed for calculating the global aggregate demand for digital resources and its growth rate. The methodology was tested using the dynamic series of the proposed economic indicators based on empirical data from the intersectoral balances of the Organization for Economic Cooperation and Development countries and the Republic of Belarus.

**Keywords:** digital resources, international trade in digital resources, digital transformation of the world economy, global aggregate demand for digital resources.

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

**For citation.** Zubritskaya I. A. (2023) Methodology for Assessing the Global Aggregate Demand for Digital Resources and Its Growth Rate Based on the Intersectoral Balance Model. *Digital Transformation*. 29 (4), 15–22. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-15-22> (in Russian).

## Введение

Глобальное изменение средств производства обусловлено влиянием технико-технологических мегатрендов четвертой промышленной революции, что подразумевает масштабное потребление в производстве продукции, оказании услуг, ведении домашнего хозяйства и бизнеса робототехники, мобильных и аддитивных устройств, компьютеров и оптического оборудования, средств дополненной и виртуальной реальности, искусственного интеллекта, облачных хранилищ данных, интернета вещей [1]. В современных условиях глобальная цифровая трансформация, позволяющая экономить время при принятии управленческих решений, улучшить условия труда человека и повысить экономическую эффективность процессов производства, бизнес-процессов, охватывает все сферы экономической деятельности развитых и развивающихся стран и оказывает комплексное воздействие на мировое сообщество, приобретая глобальный характер спроса на цифровые ресурсы, обусловленного растущим их потреблением.

Экономический результат масштабного потребления в производстве цифровых ресурсов материальной и нематериальной природы характеризуется приростом получаемых на их основе и распределяемых доходов, что сопровождается капитализацией, основанной на их потреблении, формированием и приростом цифрового капитала, характерного для общественно-политических и экономических отношений в условиях четвертой промышленной революции [2]. Под цифровыми ресурсами понимается «совокупность материальных и нематериальных активов, включаемых в стоимость промышленной продукции частями или полностью, назначение которых состоит в использовании информации в цифровом виде в управлении производственными, продуктовыми и бизнес-процессами» [3]. В целях проводимого исследования группировка цифровых ресурсов произведена на основе анализа существующих отраслевых классификаторов и включает компьютерное, телекоммуникационное и оптическое оборудование, программное обеспечение, робототехнические устройства и устройства для аддитивной печати, компьютерное программирование, информационное и телекоммуникационное обеспечение [4, с. 8].

Развитие мирового рынка цифровых ресурсов, его открытость являются основополагающими факторами цифровой трансформации мирового хозяйства, способствующей экономическому росту и общественному благосостоянию, которые главным образом формируются на основе интегрированных стратегий, способствующих развитию образования, науки и технологий, международному обмену цифровыми ресурсами для промежуточного (производственного) и конечного потребления. Например, в отчете Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) «Интегрированная политическая основа перехода на цифровые технологии» (2020 г.) обозначены семь взаимообусловленных параметров стратегии цифровой трансформации: доступ к телекоммуникационной (коммуникационной) инфраструктуре; эффективное использование цифровых ресурсов; генерирование инноваций в области цифровых технологий; гарантии трудоустройства в цифровой бизнес-среде; социальная безопасность; доверие к цифровой эпохе; открытость рынка [5]. Это предполагает мероприятия по проведению научных исследований и разработок в информационной и технико-технологической сфере, эффективное использование цифровых ресурсов субъектами хозяйствования, повышение цифровых навыков и компетенций, развитие международной торговли цифровыми ресурсами.

Масштабное, комплексное и единовременное воздействие множественных цифровых преобразований отраслей глобальной экономики затрудняет формирование национальной политики в области управления цифровой трансформацией народного хозяйства, обусловленного необходимостью выбора стратегических направлений ее развития и расстановки приоритетов реализации управленческих решений. Необходимым условием адаптивного управления цифровой трансформацией народного хозяйства Республики Беларусь в достижении обозначенных параметров является применение методического инструментария, обеспечивающего упрощение процедуры мониторинга, измерения и анализа достигнутых страной результатов в рамках прогнозирования и реализации поставленных стратегических целей цифрового развития страны, проведение оценки достигнутых результатов [4]. Научная проблематика методологического обеспечения оценки развития глобального рынка цифровых ресурсов, состоящего в разработке измеримых экономи-

ческих показателей становления и расширения национальных рынков цифровых ресурсов, имеет высокую практическую значимость в связи с принятыми государственными программами цифрового развития и нормативными документами, регулирующими хозяйственную деятельность субъектов в условиях цифровой экономики<sup>1,2,3</sup>.

В связи с вышеизложенным обоснована актуальность разработки методики оценки развития мирового рынка цифровых ресурсов на основе сопоставимых экономических целевых показателей совокупного спроса на цифровые ресурсы и индекса развития мирового рынка цифровых ресурсов, которая отвечает условиям адаптивного управления цифровой трансформацией на национальном уровне в различных временных периодах. Методология измерения глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы с учетом современных тенденций международного разделения труда базируется на теоретико-методологической базе фундаментальных научных трудов ученых-экономистов (примеры определений совокупного спроса представлены в табл. 1), на закономерностях развития совокупного спроса на современном мировом рынке как факторов производства, так и товаров (услуг) для конечного потребления.

**Таблица 1.** Теоретико-методологические основы совокупного спроса  
**Table 1.** Theoretical and methodological foundations of aggregate demand

Основа методологии / The basis of the methodology	Автор, источник / Author, source	Определение понятия «спрос» / Definition of the concept of “demand”
Теория стоимости. Закон сравнительных преимуществ	Д. Рикардо, А. А. Смит [6]	«Нельзя говорить о возрастающем спросе на товар, если не покупается или не потребляется добавочное количество его...» [6, с. 314]. «...Товар предлагается не потому, что он может быть произведен, но потому, что на него существует спрос...» [6, с. 316]
Теория абсолютного преимущества	А. Смит [7]	«...Количество каждого товара, доставляемого на рынок, естественно согласуется с действительным спросом на него...» [7, с. 15]
Теория внешнеторгового мультипликатора	Дж. М. Кейнс [8]	«Совокупный спрос может быть порожден лишь текущим потреблением (либо же нынешними приготовлениями, обеспечивающими будущее потребление)» [8, с. 37]
Модель IS-LM сов- местного равновесия на товарном и денежном рынках	Дж. Хикс [9]	Товары, «...которые потребитель выберет при заданных ценах и уровне полезности...», «...который руководствуется соображениями экономической рациональности...» [9, с. 11]
Теория конкурентных преимуществ	М. Е. Портер [10]	«...международные конкурентные преимущества национальных фирм зависят от того, в какой макросреде осуществляется их деятельность в собственной стране. Макросреда определяется не только факторами производства, но и характером спроса на внутреннем рынке...» [10, с. 211]

Рассмотрим существующие подходы экономической теории<sup>4</sup> к определению совокупного спроса, потребностей и ресурсов. На основе систематизации существующей теории совокупного спроса установлено, что совокупный спрос – это стоимость произведенной продукции (товаров и услуг), которую потребители приобретают и оплачивают при существующем уровне цен. Следовательно, глобальный совокупный спрос на цифровые ресурсы определяется как спрос на компьютеры, электронное и оптическое оборудование (ISIC<sup>5</sup>, раздел 26), телекоммуникационные

<sup>1</sup> О развитии цифровой экономики [Электронный ресурс]: Декрет Президента Респ. Беларусь, 21 декабря 2017 г. // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2022.

<sup>2</sup> О Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс]: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 2 февраля 2021 г., № 66 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2021.

<sup>3</sup> Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации [Электронный ресурс]: Указ Президента Респ. Беларусь, 7 апреля 2022 г., № 136 // ЭТАЛОН. Законодательство Респ. Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2023.

<sup>4</sup> Воробьев, В. А. Экономическая теория / В. А. Воробьев, А. В. Бондарь, А. М. Филиппова. Минск: БГЭУ, 2022. 494 с.

<sup>5</sup> International Standard Industrial Classification of All Economic Activities. *ILOSTAT*. Available: <https://ilostat.ilo.org/resources/concepts-and-definitions/classification-economic-activities/> (Accessed 22 May 2023).

услуги (раздел 61), услуги в области компьютерного программирования, консультационные и аналогичные услуги (раздел 62), услуги в области информационного обслуживания (раздел 63) как на внутреннем, так и на внешнем рынках стран. Вместе с тем результат анализа существующей методологии международных рейтингов и методологических пояснений к статистическим базам данных, отраженный в [11], позволил сформировать методологический подход к оценке цифрового развития стран по совокупному спросу на цифровые ресурсы, приходящемуся на душу населения. Таким образом, глобальный совокупный спрос включает полную стоимость затрат в основных ценах (производственное потребление) и ценах потребителей (личное и государственное потребление), а также инвестиции в развитие ИКТ-сектора, накопление запасов и экспорт цифровых ресурсов. Совокупным стоимостным показателем такого потребления является величина глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы, который обеспечивается их совокупным мировым выпуском, обусловленным растущими промежуточным и конечным потреблением, капитализацией в экономиках стран, а также увеличением доли экспорта цифровых ресурсов, что характеризует темпы цифровой трансформации мирового хозяйства. Для простоты восприятия разработанной методики оценки развития мирового рынка цифровых ресурсов на основе модели межотраслевого баланса использованы названия показателей и обозначения подразделов, видов экономической деятельности в соответствии с методологией OECD<sup>6</sup>.

Как обосновано выше, в качестве агрегированного показателя глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы (Global Aggregate Demand) рассчитывается стоимостной показатель, состоящий из совокупностей стоимости потребления цифровых ресурсов на внутреннем и внешнем рынках страны. Потребление цифровых ресурсов на внутреннем рынке страны обусловлено их использованием субъектами хозяйствования в производственных и бизнес-процессах, что в рамках межотраслевого баланса составляет стоимость промежуточного потребления цифровых ресурсов (intermediate consumption for digital resources). Выделен показатель конечного спроса, как стоимость конечного потребления цифровых ресурсов (final consumption for digital resources), который характеризует затраты домашних хозяйств, государственных и некоммерческих организаций на приобретение компьютеров, оптического и электронного оборудования, программного обеспечения, телекоммуникационных и информационных услуг и др. Выявлено, что на цифровые ресурсы также существует спрос как на основные средства производства (материальные и нематериальные цифровые активы), рассмотренные в [2], а их стоимость в рамках модели межотраслевого баланса определяется валовым накоплением основного капитала (gross fixed capital formation). Цифровые ресурсы в качестве цифровых оборотных активов потребляются в процессе экономической деятельности субъектами хозяйствования и выражаются в рамках модели межотраслевого баланса в изменениях стоимости товарно-материальных запасов (changes in inventories) [2]. Часть цифровых ресурсов, произведенных странами, экспортируется (exporting digital resources), что формирует глобальный экспорт цифровых ресурсов.

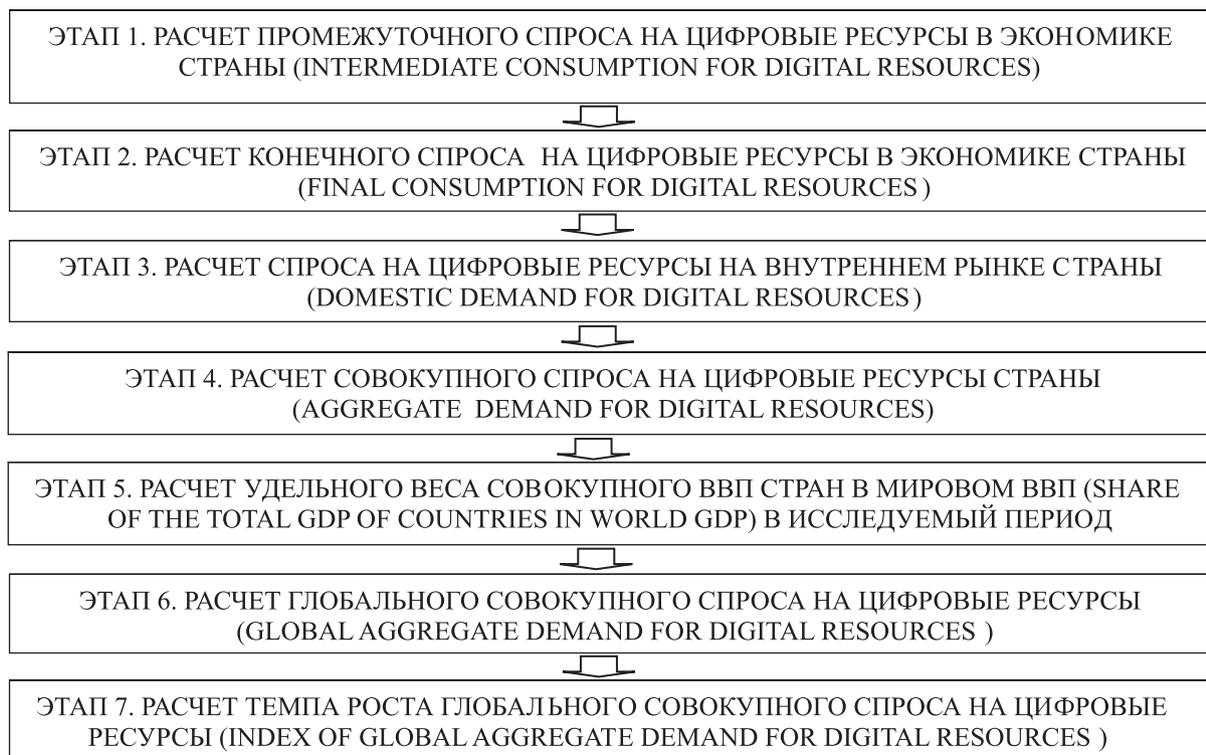
Исходя из вышеизложенного, установлена структура глобального совокупного спроса (Global Aggregate Demand for Digital Resources), которая образуется стоимостью потребления цифровых ресурсов на внутренних рынках стран и их глобальным экспортом. В связи с отсутствием общедоступных данных межотраслевых балансов всех стран мира при расчете глобального совокупного спроса введено следующее допущение. Каждая страна мира участвует в мировом рынке цифровых ресурсов пропорционально участию страновым ВВП в мировом. Из этого следует, что для расчета показателя глобального совокупного спроса на основе данных стран-членов ОЭСР необходимо ввести в формулу поправочный коэффициент, рассчитанный как удельный вес стран-членов ОЭСР в мировом ВВП<sup>7</sup> в исследуемом периоде, что позволяет на основе совокупного спроса на цифровые ресурсы отдельных стран рассчитать глобальный совокупный спрос. Таким образом, предлагаемая автором методика оценки развития мирового рынка цифровых ресурсов состоит из семи последовательных этапов, представленных на рис. 1. Апробация методики производилась на основе системы таблиц “input-output” статистической базы данных OECD.Stat, которые представляют собой аналитический инструмент на основе модели межотраслевого баланса В. Леонтьева, применяемый для исследования выпуска и циркуляции в экономике товаров и их экспорта. Период исследования выбран на основе сопоставимости данных межотраслевых балансов стран и межотраслевого баланса Республики Беларусь<sup>8</sup> в разрезе

<sup>6</sup> OECD.Stat. Available: <https://stats.oecd.org/> (Accessed 18 June 2023).

<sup>7</sup> База данных. Показатели мирового развития [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://databank.worldbank.org/reports.aspx?source=2&series=NY.GDP.MKTP.CD&country=#>. Дата доступа: 20.06.2023.

<sup>8</sup> Система таблиц «затраты-выпуск» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/natsionalnye-scheta/sistema-tablits-zatraty-vypusk/index.php>. Дата доступа: 20.06.2023.

68 стран за 2016–2018 гг. по разделам 26, 61, 62, 63 Международной стандартной отраслевой классификации, которые сопоставимы с соответствующими разделами ОКП РБ<sup>9</sup>, с целью возможности сопоставления межстрановых показателей.



**Рис. 1.** Последовательность и содержание этапов методики оценки развития мирового рынка цифровых ресурсов

**Fig. 1.** The sequence and content of the stages of the methodology for assessing the development of the global digital resources market

### Порядок расчета и формулы для определения показателей совокупного спроса на цифровые ресурсы и индекса развития мирового рынка цифровых ресурсов

Этап 1. Рассчитан промежуточный спрос на цифровые ресурсы в экономике страны по формуле

$$IC_n = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{47} IC_{ij}, \quad (1)$$

где  $IC_{ij}$  – промежуточный спрос на цифровые ресурсы подраздела  $i$  (от 1 до 3), выраженный в стоимости промежуточного потребления цифровых ресурсов подраздела  $i$  при выпуске продукции  $j$ -м видом экономической деятельности (общее количество которых в таблицах “input-output” OECD.Stat составляет 47).

Этап 2. Определен показатель конечного спроса на цифровые ресурсы  $FC_n$  страны  $n$  из выражения

$$FC_n = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{47} FC_{ij}. \quad (2)$$

Этап 3. Рассчитан показатель спроса на цифровые ресурсы на внутреннем рынке страны  $n$  в соответствии с формулой

$$DD_n = IC_n + FC_n + GFCF_n + CII_n, \quad (3)$$

<sup>9</sup> Классификатор продукции по видам экономической деятельности: ОКРБ 007–2012 (ОКП РБ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/klassifikatory/obschegosudarstvennye-klassifikatory-respubliki-belarus-ispolzuyemye-dlya-zapolneniya-gosudarstvennoi-statisticheskoi-otchetnosti/obschegosudarstvennyi-klassifikator-respubliki-belarus-okrb-007-2012-klassifikator-produktsii-po-vidam-ekonomicheskoi-deyatelnosti-okp-rb/>. Дата доступа: 20.06.2023.

где  $GFCF_n$  – затраты на валовое накопление цифровых ресурсов в стране  $n$  (gross fixed capital formation of digital resources);  $CI_n$  – изменение стоимости цифровых ресурсов в материальных запасах экономики страны  $n$  (changes in inventories for digital resources).

Этап 4. Определен показатель совокупного спроса на цифровые ресурсы на внутреннем и внешнем рынках страны  $n$  из выражения

$$AD_n = DD_n + E_n, \quad (4)$$

где  $E_n$  – экспорт цифровых ресурсов страны  $n$  (exporting digital resources).

Этап 5. Рассчитан индекс совокупного спроса на цифровые ресурсы ( $IDDRM$ ) в разрезе стран как среднегодовой прирост совокупного спроса на цифровые ресурсы

$$IDDRM_n = \left( \left( \frac{GMC_{nt}}{GMC_{n(t-m)}} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right) \cdot 100 \%. \quad (5)$$

Этап 6. Вычислен показатель глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы  $GMC_G$  по формуле

$$GMC_G = \sum_{n=1}^k AD_n \cdot \frac{1}{d_{GDP}^k}, \quad (6)$$

где  $d_{GDP}^k$  – удельный вес  $k$  стран в мировом ВВП, статистические данные межотраслевого баланса которых общедоступны.

Этап 7. Рассчитан индекс глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы

$$IDDRM_G = \left( \left( \frac{GMC_t}{GMC_{(t-m)}} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right) \cdot 100 \%. \quad (7)$$

### Результаты исследований и их обсуждение

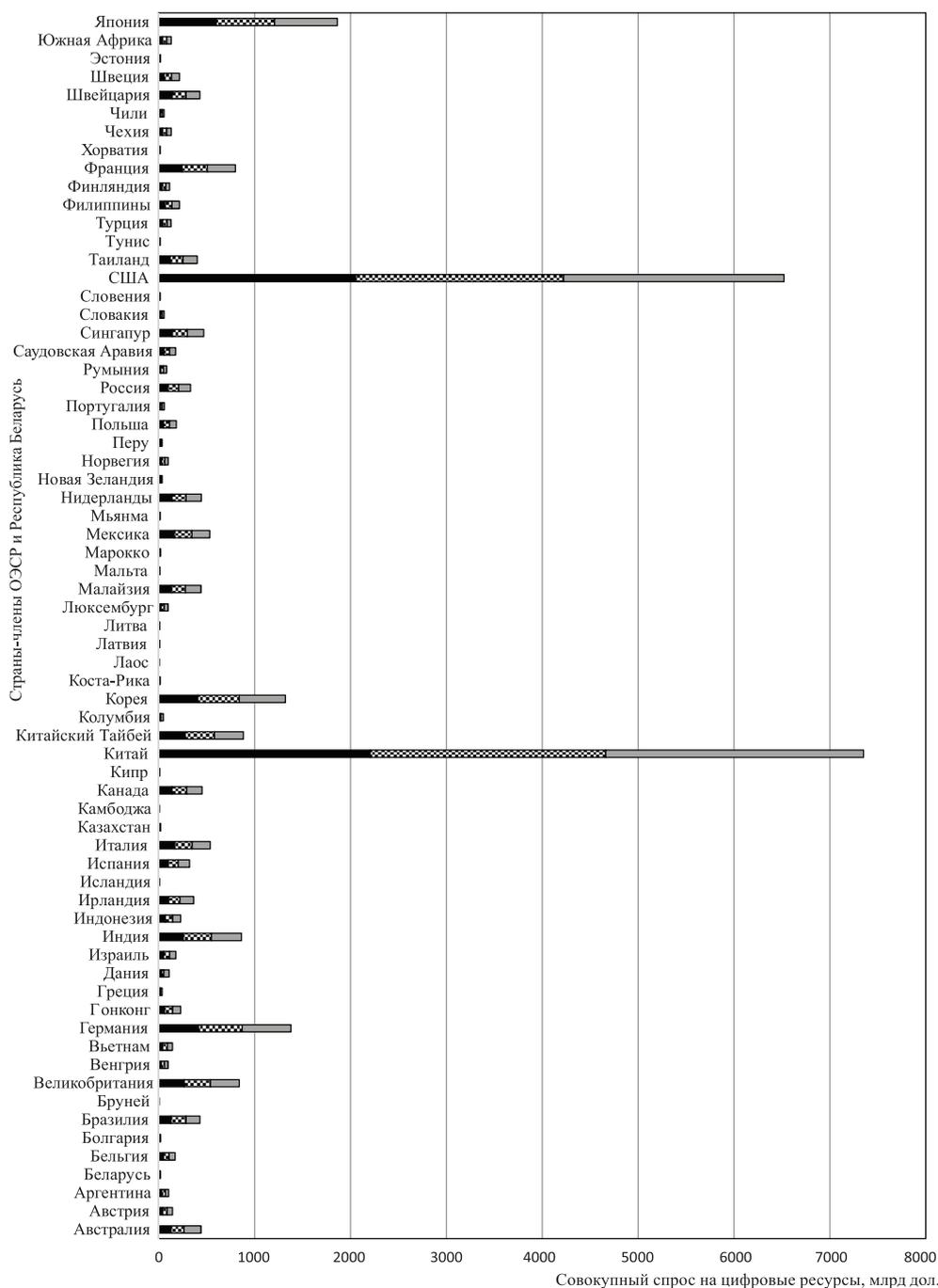
В результате апробации методики оценки развития мирового рынка цифровых ресурсов на основе данных межотраслевых балансов стран-членов ОЭСР рассчитан глобальный совокупный спрос на цифровые ресурсы на базе их совокупного спроса в разрезе стран-членов ОЭСР и Республики Беларусь (рис. 2) за 2016–2018 гг.

Исследование показало, что мировой рынок цифровых ресурсов формируется странами-членами ОЭСР с приоритетом Китая (24,43 %), США (19,35 %), Японии (5,52 %). Доли рынка от 1,00 % до 4,10 % занимают Германия (4,10 %), Корея (3,92 %), Индия (2,57 %), Великобритания (2,49 %), Франция (2,37 %), Италия (1,60 %), Нидерланды (1,33 %), Малайзия и Австралия (1,31 %), Бразилия и Швейцария (1,28 %), Таиланд (1,19 %), Ирландия (1,08 %). Остальные страны мира имеют долю в мировом рынке цифровых ресурсов менее 1,00 %, например, Россия (0,98 %), Беларусь, Коста-Рика, Мьянма, Словения, Тунис, Эстония и Хорватия (0,05 %). При анализе полученных результатов выявлена положительная динамика глобального совокупного спроса на цифровые ресурсы от 9,528 до 11,184 трлн дол., что свидетельствует о глобальном масштабе происходящих процессов цифровой трансформации мирового хозяйства. Темп роста мирового рынка цифровых ресурсов составил 8,15 %, что больше темпа роста мирового ВВП за исследуемый период на 1,81 процентных пункта и обусловлено опережающими темпами цифровой трансформации мирового хозяйства.

### Заключение

1. Разработана и апробирована методика оценки развития мирового рынка цифровых ресурсов на основе модели межотраслевого баланса.

2. Произведены расчеты динамических рядов значений на основе стоимостных и динамических показателей, характеризующих глобальный совокупный спрос на цифровые ресурсы и отражающих его динамику.



**Рис. 2.** Совокупный спрос на цифровые ресурсы нарастающим итогом в разрезе стран за 2016–2018 гг.  
**Fig. 2.** Cumulative demand for digital resources by cumulative total in the context of countries for 2016–2018

3. Полученные динамические ряды применимы для оценки степени выполнения стратегических задач по цифровому развитию стран, возможности стратегического целеполагания цифрового развития на национальном уровне на основе межстранового сопоставления результатов в доступных хронологических диапазонах, что позволяет осуществлять ситуационный анализ с учетом предлагаемых показателей и формировать интегрированную стратегию управления цифровой трансформацией.

### Список литературы

1. 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. 246 с.

2. Зубрицкая, И. А. Цифровой капитал: новые показатели цифровой экономики / И. А. Зубрицкая // Новая экономика. 2022. Т. 80, № 2. С. 234–246.
3. Зубрицкая, И. А. Измерение цифровой добавленной стоимости национальной экономики по данным межотраслевого баланса / И. А. Зубрицкая // Белорусский экономический журнал. 2023. № 1. С. 60–74.
4. Зубрицкая, И. А. Национальный рынок цифровых ресурсов: теоретико-методологические основы / И. А. Зубрицкая // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 1. С. 5–12. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-1-5-12>.
5. Интегрированная политическая основа перехода на цифровые технологии // Документы ОЭСР по цифровой экономике, № 292, изд-во ОЭСР, Париж [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1787/dc930adc-en>. Дата доступа: 15.04.2023.
6. Рикардо, Д. Сочинения. Т. 1. Начала политической экономии и налогового обложения / Д. Рикардо, А. А. Смит. М.: Госполитиздат, 1955.
7. Смит, А. Исследование о природе и причинах богатства народов / А. Смит; пер. с англ. П. Клюкина. М.: Эксмо, 2019.
8. Кейнс, Дж. М. Общая теория занятости, процента и денег. Т. 2. Антология экономической классики / Дж. М. Кейнс. М., 1993.
9. Хикс, Дж. Теория экономической истории. Пер. с англ. / Дж. Хикс // Вопросы экономики. 2003.
10. Портер, М. Е. Международная конкуренция / М. Е. Портер. М.: Междунар. отношения, 1993.
11. Зубрицкая, И. А. Методологический подход к измерению емкости мирового рынка цифровых ресурсов: альтернативные показатели цифрового развития стран / И. А. Зубрицкая // Журнал международного права и международных отношений. 2023. Т. 104, № 1. С. 64–72.

## References

1. Danilchenko A. V., Zubritskaya I. A., Yakushenko K. V. (2019) *Digital Transformation of the Manufacturing Industry of the Republic of Belarus: Trends and Prospects of Development*. Minsk, Law and Economics. 246.
2. Zubritskaya I. A. (2022) Digital Capital: New Indicators of the Digital Economy. *The New Economy*. 80 (2), 234–246.
3. Zubritskaya I. A. (2023) Measurement of the Digital Added Value of the National Economy According to the Data of the Intersectoral Balance. *Belarusian Economic Journal*. (1), 60–74.
4. Zubritskaya I. A. (2023) National Digital Resource Market: Theoretical and Methodological Foundations. *Digital Transformation*. 29 (1), 5–12. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-1-5-12>.
5. *Integrated Policy Framework for the Transition to Digital Technologies*. OECD Documents on the Digital Economy, No 292, OECD Publishing House, Paris. Available: <https://doi.org/10.1787/dc930adc-en> (Accessed 15 April 2023).
6. Ricardo D., Smith A. A. (1955) *Essays. Vol. 1: The Beginnings of Political Economy and Taxation*. Moscow, Gospolitizdat Publ.
7. Smith A. (2019) *Research on the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. Trans. from Engl. Moscow, Eksmo Publ.
8. Keynes J. M. (1993) *General Theory of Employment, Interest and Money. Vol. 2: Anthology of Economic Classics*. Moscow.
9. Hicks J. (2003) *Theory of Economic History*. Journal of Economic Issues. Moscow.
10. Porter M. E. (1993) *International Competition*. Moscow, International Relationships.
11. Zubritskaya I. A. (2023) Methodological Approach to Measuring the Capacity of the Global Digital Resources Market: Alternative Indicators. *Journal of International Law and International Relations*. 104 (1), 64–72.

## Сведения об авторе

**Зубрицкая И. А.**, к. э. н., доцент кафедры маркетинга Белорусского национального технического университета

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
Минск, просп. Независимости, 165  
Белорусский национальный  
технический университет  
Тел.: +375 17 293-93-97  
E-mail: [zubritskaya@tut.by](mailto:zubritskaya@tut.by)  
Зубрицкая Инесса Анатольевна

## Information about the author

**Zubritskaya I. A.**, Cand. of Sci., Associate Professor at the Marketing Department of the Belarusian National Technical University

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, Nezavisimosty Ave., 165  
Belarusian National  
Technical University  
Tel.: +375 17 293-93-97  
E-mail: [zubritskaya@tut.by](mailto:zubritskaya@tut.by)  
Zubritskaya Inessa Anatolyevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-23-33>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 69.003+004

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

А. С. МИЩЕНКО

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

*Поступила в редакцию 24.07.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Разработана методика оценки уровня цифровизации строительной отрасли на основе анализа специфики функционирования и процесса внедрения цифровых технологий в работу строительных организаций, а также имеющихся методических принципов оценки уровня использования цифровых технологий в различных экономических системах, предлагаемых международными компаниями. Предложен алгоритм внедрения цифровых инструментов в работу строительных компаний, отражающий все стадии жизненного цикла объектов строительства и тенденцию повышения степени цифрового взаимодействия. В состав укрупненных составляющих уровня цифровизации включены уровни: информатизации деятельности (использование классических информационных систем и инструментов) строительных организаций, цифровизации ключевых управленческих областей (проектирование, возведение объектов, эксплуатация, контроль) строительных организаций, цифрового взаимодействия строительных организаций в рамках внутренней и внешней среды. Научная новизна методики заключается в адаптации классических подходов к специфике строительного комплекса с одновременным обоснованием оценочной системы, позволяющей не только установить общий уровень цифровизации, но и выявить наименее цифровизированные области, а также определить, на каком этапе перехода к цифровой модели находятся отдельные строительные организации.

**Ключевые слова:** строительный комплекс, информационные и цифровые технологии, уровень цифровизации, методика оценки цифровизации, жизненный цикл, объект строительства, алгоритм внедрения цифровых технологий.

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

**Для цитирования.** Мищенко, А. С. Методика оценки уровня цифровизации строительной отрасли / А. С. Мищенко // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 23–33. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-23-33>.

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE LEVEL OF DIGITALIZATION OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY

ARTEM S. MISHCHENKO

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

*Submitted 24.07.2023*

**Abstract.** As part of the study, a methodology was developed to assess the level of digitalization of the construction industry based on an analysis of the specifics of the functioning and process of introducing digital technologies into the work of construction organizations, as well as the existing methodological framework for assessing

the level of use of digital technologies in various economic systems offered by international companies. The methodology is based on the current algorithm for introducing digital tools into the work of construction companies, which simultaneously reflects all stages of the life cycle of construction projects and the trend towards increasing the degree of digital interaction. The composition of the enlarged components of the digitalization level includes: the level of informatization of activities (the use of classical information systems and tools) of construction organizations, the level of digitalization of key management areas (design, construction of facilities, operation, control) of construction organizations and the level of digital interaction of construction organizations within the internal and external environment. The scientific novelty of the methodology lies in the adaptation of classical scientific approaches to the specifics of the construction complex with the simultaneous substantiation of the assessment system, which allows not only to establish the general level of digitalization, but also to identify the least digitalized areas, and also to determine at what stage of the transition to a digital model are individual construction organizations.

**Keywords:** building complex, information and digital technologies, level of digitalization, methodology for assessing digitalization, life cycle, construction object, algorithm for introducing digital technologies.

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

**For citation.** Mishchenko A. S. (2023) Methodology for Assessing the Level of Digitalization of the Construction Industry. *Digital Transformation*. 29 (4), 23–33. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-23-33> (in Russian).

## Введение

Цифровизации строительной отрасли в последнее время уделяется существенное внимание в мировом масштабе. Цифровизация как явление представляет собой не просто использование современного программного обеспечения или новых технологий, а комплексную перестройку бизнес-процессов и применение цифровых технологий для создания новых продуктов. Внедрение цифровых технологий способно сократить сроки и стоимость строительства, повысить производительность труда, обеспечить сокращение обязательных требований без снижения базовых требований безопасности. Помимо уменьшения затрат на проектирование, строительные монтажные работы и эксплуатацию объектов строительства, внедрение цифровых решений в работу участников строительного рынка значительно упрощает их взаимодействие между собой, а также с органами государственной власти и надзорными органами, стимулируя повышение добавленной стоимости.

Существенная практическая значимость проведения цифровизации строительства как важнейшей сферы экономики обусловила тот факт, что обоснованием различных сторон данного процесса в настоящее время активно занимаются многие отечественные и зарубежные ученые. Вопросам внедрения информационных технологий в строительстве посвящены работы О. А. Акулова, В. Б. Алюшкевича, Э. И. Батяновского, В. В. Бабицкого, А. Ф. Головнева, Г. В. Землякова, С. Н. Колдаевой, С. Н. Леоновича, Д. М. Пикуса, Ю. Д. Примака, В. К. Шумчика. Задачи оценки экономической эффективности внедрения новых технологий в строительство изложены в работах О. С. Голубовой, О. А. Кириновича, Л. К. Корбан, Н. М. Михалькевич, Г. С. Пурса, А. В. Шиманской. Данные труды содержат довольно полное описание особенностей цифровизации и специфики определения эффективности мер по внедрению цифровых технологий, однако в них не рассматриваются особенности оценки уровня цифровизации как конечного результата всех предпринимаемых усилий. Поэтому проведенное автором статьи исследование является весьма актуальным и имеет существенную практическую направленность.

## Специфика функционирования и цифровизации строительного комплекса

Для обоснования качественной и объективной методики оценки уровня цифровизации строительного комплекса первоначально необходимо выявить сущность и особенности его функционирования. Так, В. А. Ежова [1, с. 7], Л. П. Кириченко [2, с. 30], Е. П. Кияткина и С. В. Федорова [3, с. 7–8] отмечают, что в целом «комплекс представляет собой совокупность предприятий, производящих близкие продукты с использованием близких ресурсов и близких технологий». Н. В. Привалова [4, с. 324] придерживается схожего мнения и отмечает, что «комплексом является совокупность предприятий, выпускающих товары, являющиеся субститутами в производстве

(производимые с использованием однородных ресурсов и схожих технологий)». Строительный комплекс Н. А. Дубровский [5, с. 6] рассматривает как совокупность организаций различных отраслей, обеспечивающих строительство ресурсами, транспортными услугами, научно-исследовательскими, проектно-изыскательскими, опытно-конструкторскими работами и др. Г. И. Гануш и И. В. Кулага [6, с. 74] отмечают, что «строительный комплекс – это межотраслевая система, включающая совокупность предприятий и организаций, деятельность которых направлена на создание, реконструкцию и освоение объектов производственного и непромышленного назначения».

С учетом представленных подходов можно констатировать, что строительный комплекс представляет собой группу взаимосвязанных материальными и финансовыми потоками организаций, в совокупности создающих конечный продукт в виде объектов строительства и выполняющих важные функции в решении социально-экономических и технических задач развития экономики. Рассматриваемая в исследовании экономика строительства включает в себя механизм организации строительства, структуру его управления, внутриотраслевые и межотраслевые пропорции, динамику и перспективы развития.

Строительный комплекс, потребляя продукцию, работы и услуги многих смежных отраслей и аккумулируя большинство инвестиций в основной капитал, является конечным участником в создании цепочек добавленной стоимости. Основу функционирования комплекса составляют взаимоотношения, возникающие между строительными организациями в рамках производства ими строительной продукции с учетом уровня развития инфраструктуры, а также основ функционирования рыночного механизма и осуществления государственного контроля. Вместе с тем реализация рыночных отношений в границах строительства имеет особенности, которые фактически можно разделить на три группы [7, с. 7–8]:

1) продукция строительства:

- неподвижность и территориальная закреплённость;
- большие размеры;
- широкий ассортимент (многообразие);
- многодетальность и сложность;
- материалоемкость и капиталоемкость;
- необходимость соблюдения специализированных условий производства;

2) процесс строительства:

- передвижной характер ведения работ;
- влияние климатических, погодных и местных условий;
- большая длительность производственного цикла и высокие затраты на обеспечение своевременного проведения строительных работ;
- повышенные требования к квалификации работников;
- высокая потребность в своевременном инвестировании (минимизация вероятности наступления ситуации, характеризующейся недостаточностью финансирования);
- большой размер незавершенного строительного производства;

3) взаимодействие субъектов в рамках комплекса:

- большое количество и равные возможности для всех субъектов;
- договорной характер взаимодействия организаций в границах комплекса;
- индивидуальный характер цен на строительные услуги.

Кроме того, в процессе создания строительной продукции, продолжительность которого колеблется от нескольких месяцев до нескольких лет, конъюнктура рынка строительных работ претерпевает такие изменения, которые часто заставляют заказчика и подрядчика пересмотреть цели и тактику осуществления проекта. Поэтому особенностями такого рынка являются существенная вариативность и значительный уровень риска. В данном контексте цифровизация строительного комплекса выступает необходимым условием его стабильного и эффективного функционирования.

Эффективное внедрение цифровых технологий в работу строительного комплекса требует обязательного соблюдения определенного алгоритма действий, который представляет собой процесс цифровизации. Схематично процесс цифровизации строительного комплекса отражен на рис. 1 [8, с. 113].

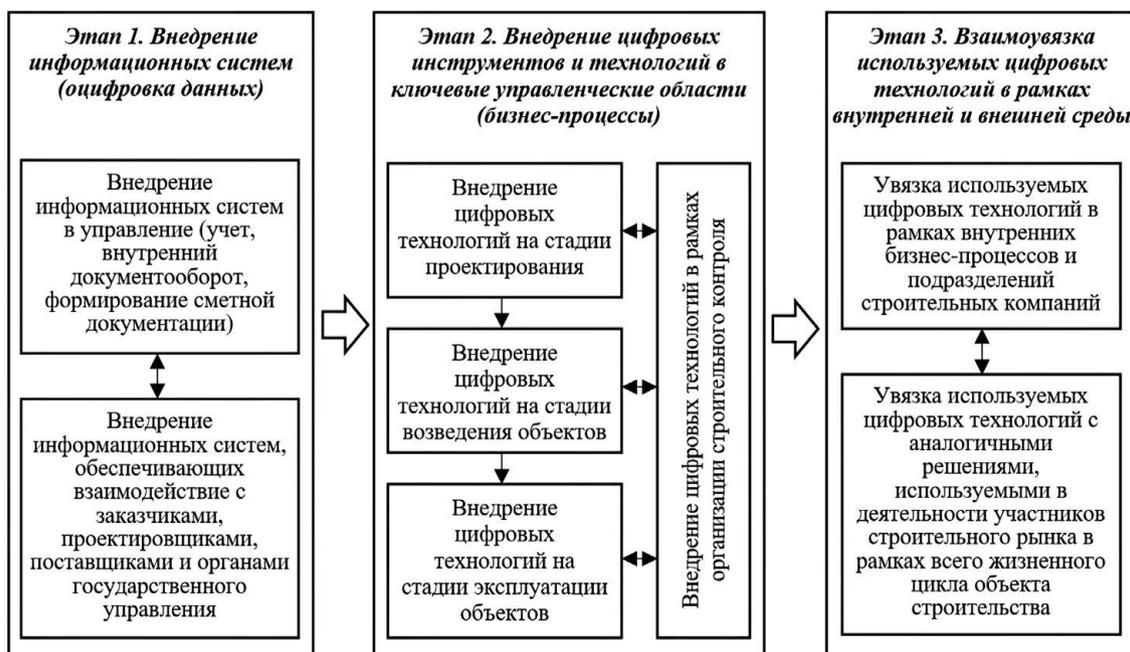


Рис. 1. Процесс цифровизации строительного комплекса  
Fig. 1. The process of digitalization of the construction complex

Как видно из рис. 1, на первом этапе цифровизации осуществляется оцифровка данных посредством внедрения информационных систем в управление (учет, внутренний документооборот, формирование сметной документации) и область взаимодействия строительных организаций с заказчиками, проектировщиками, поставщиками и органами государственного управления. Прохождение второго этапа предусматривает внедрение цифровых технологий на всех стадиях жизненного цикла объекта строительства (проектирование, возведение и эксплуатация), а также в рамках проводимого строительного контроля. В результате прохождения данного этапа выполняется внутренняя цифровизация отдельных областей управления строительством в границах конкретных строительных компаний.

Третья стадия цифровизации предполагает «сшивку» (взаимоувязку) всех цифровых процессов в ходе передачи цифровой модели от одного участника другому, т. е. формирование системы, в рамках которой общие данные на разработку от заказчика поступают проектировщику, затем от проектировщика – контрольным органам и экспертам, в последующем для организации строительства – к подрядчикам, и по завершении строительства – в эксплуатирующую организацию. Для формирования итоговой цифровой модели комплекса важны первоначальная «сшивка» цифровых инструментов в рамках внутренних бизнес-процессов и подразделений строительных компаний и последующая «сшивка» цифровых технологий с аналогичными решениями, используемыми в деятельности участников строительного рынка в процессе жизненного цикла объекта строительства. При этом в условиях наличия четких требований к компонентам информационных моделей, программным интерфейсам обмена данными, объемам и содержанию передаваемой информации будет обеспечена интероперабельность созданной цифровой модели [8, с. 114].

Таким образом, цифровизация строительного комплекса требует последовательного прохождения трех ключевых этапов, предусматривающих постепенное внедрение цифровых технологий в деятельность строительных компаний и их взаимодействие между собой. Данный факт обуславливает необходимость формирования методики оценки, обеспечивающей возможность учета степени прохождения каждого из отмеченных этапов.

### Методика оценки уровня цифровизации строительной отрасли

С учетом отмеченной специфики цифровизации строительного комплекса, а также имеющихся методических основ оценки применения цифровых технологий в различных экономических системах, используемых международными компаниями (например, методики оценки цифровой

экосистемы (DECA), индекса цифровой экономики и общества (DESI), индекса цифровой эволюции (DEI), индекса цифровизации экономики Boston Consulting Group (e-Intensity) и др.), определение уровня цифровизации строительной отрасли предлагается производить по формуле

$$УЦ_{ст} = \frac{1}{3} УИД + \frac{1}{3} УЦУО + \frac{1}{3} УЦВ, \quad (1)$$

где  $УЦ_{ст}$  – уровень цифровизации строительства;  $УИД$  – уровень информатизации деятельности (использование классических информационных систем и инструментов) строительных организаций, %;  $УЦУО$  – уровень цифровизации ключевых управленческих областей (проектирование, возведение и эксплуатация объектов, контроль) строительных организаций, %;  $УЦВ$  – уровень цифрового взаимодействия строительных организаций в рамках внутренней и внешней среды, %.

Формула (1) учитывает ранее обозначенные этапы процесса цифровизации строительного комплекса и, следовательно, позволяет получить объективную оценку, наиболее полно учитывающую все области управления процессом строительства. Научная новизна методики заключается в ее формировании на основе специфики внедрения цифровых технологий в работу строительных организаций. В отличие от методик, используемых международными компаниями, предложенная автором позволяет проанализировать степень цифровизации конкретной отрасли и, наряду с оценкой применения отдельных цифровых инструментов, определить уровень цифрового взаимодействия строительных организаций с клиентами, поставщиками, государственными органами.

В (1) использованы обобщенные формулировки составляющих. В рамках проведенного исследования также рассматривались показатели, включаемые в выделенные составляющие и отражающие ранее обозначенную специфику процесса цифровизации транспортного комплекса. Так, уровень информатизации деятельности строительных организаций может быть рассчитан по формуле

$$УИД = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n УИД_{i_{внутр}}}{n} + \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n УИД_{i_{внешн}}}{n}, \quad (2)$$

где  $УИД_{i_{внутр}}$ ,  $УИД_{i_{внешн}}$  – уровень информатизации деятельности внутренних подразделений и внешних связей  $i$ -й строительной организации соответственно, %;  $n$  – количество строительных организаций, функционирующих в рамках комплекса;  $i = 1, 2, \dots, n$  – порядковый номер строительной организации.

Показатели  $УИД_{i_{внутр}}$ ,  $УИД_{i_{внешн}}$  определяются из выражений:

$$УИД_{i_{внутр}} = \frac{\sum_{j=1}^m y_{ij_{внутр}} a_j}{\sum_{j=1}^m a_j}; \quad (3)$$

$$УИД_{i_{внешн}} = \frac{\sum_{j=1}^m y_{ij_{внешн}} a_j}{\sum_{j=1}^m a_j}, \quad (4)$$

где  $y_{ij_{внутр}}$ ,  $y_{ij_{внешн}}$  – уровень  $j$ -го показателя, установленный для  $i$ -й строительной организации для оценки информатизации внутренних подразделений и взаимодействия с внешней средой соответственно, %;  $m$  – количество оцениваемых показателей информатизации;  $j = 1, 2, \dots, m$  – порядковый номер показателя информатизации;  $a_j$  – вес  $j$ -го показателя.

Набор приведенных в (3), (4) характеристик может отражать все возможные критерии информатизации или лишь ключевые из них. Показатели, предлагаемые к оценке автором статьи, и их вес представлены в табл. 1. В состав данных характеристик были включены те из них, которые характеризуют степень использования наиболее распространенных и значимых информационных систем и программных решений. Применение предлагаемого перечня показателей позволит осуществлять максимально полный учет возможных инструментов информатизации при отсутствии перегруженности оценочной системы.

**Таблица 1.** Показатели, предлагаемые для оценки определения уровня информатизации деятельности строительных организаций  
**Table 1.** Indicators proposed for assessing the level of informatization of the activities of construction organizations

Обозначение показателя / Indicator designation	Наименование показателя / Name of indicator	Вес показателя / Indicator weight	Оценка уровня по показателю, % / Level assessment by indicator, %
<b>Информационные технологии во внутренних подразделениях</b>			
$Y_{i1\text{внутр}}$	Деятельность систем электронного документооборота	0,15	Устанавливается в границах 0–100 % в зависимости от степени использования каждого инструмента (например, при задействовании в электронном документообороте пяти управленческих областей и фактическом его применении исключительно в одной области уровень использования данного инструмента составит 20 %)
$Y_{i2\text{внутр}}$	Программные продукты для организации бухгалтерского и управленческого учета	0,10	
$Y_{i3\text{внутр}}$	ERP-системы		
$Y_{i4\text{внутр}}$	HRM-системы		
$Y_{i5\text{внутр}}$	EAM-системы		
$Y_{i6\text{внутр}}$	BPM-системы		
$Y_{i7\text{внутр}}$	Автоматизация формирования сметной документации	0,15	
$Y_{i8\text{внутр}}$	Автоматизация закупки строительных материалов (использование SCM-систем)	0,10	
$Y_{i9\text{внутр}}$	Автоматизация процессов принятия управленческих решений		
<b>Информационные технологии во взаимодействии с внешней средой</b>			
$Y_{i1\text{внешн}}$	CRM-системы	0,25	
$Y_{i2\text{внешн}}$	SRM-системы		
$Y_{i3\text{внешн}}$	Информационные системы и интернет-платформы государственных органов		
$Y_{i4\text{внешн}}$	Системы электронного документооборота или системы электронного обмена данными для взаимодействия с клиентами, поставщиками, государственными органами		

Установленные весовые показатели учитывают величину эффекта, возможного к получению при использовании отдельных информационных систем и инструментов. Так, наиболее существенный эффект будет наблюдаться при внедрении систем электронного документооборота за счет их влияния на бизнес-процессы и программные решения, позволяющие обеспечить автоматизацию формирования сметной документации ввиду существенных трудовых затрат на совершение соответствующих мероприятий. Поэтому для них был установлен повышенный вес. Автоматизация с помощью иных информационных систем приведет к получению примерно равного эффекта, что придает им равные весовые характеристики.

Уровень цифровизации ключевых управленческих областей строительных организаций предусматривает оценку использования цифровых инструментов на каждой из стадий жизненного цикла объекта строительства (проектирование, возведение и эксплуатация), а также в рамках строительного контроля. Данную составляющую можно вычислить по формуле

$$УЦУО = \frac{1}{4} \frac{\sum_{i=1}^n УЦУО_{i\text{проект}}}{n} + \frac{1}{4} \frac{\sum_{i=1}^n УЦУО_{i\text{возвед}}}{n} + \frac{1}{4} \frac{\sum_{i=1}^n УЦУО_{i\text{экспл}}}{n} + \frac{1}{4} \frac{\sum_{i=1}^n УЦУО_{i\text{контр}}}{n}, \quad (5)$$

где  $УЦУО_{i\text{проект}}$ ,  $УЦУО_{i\text{возвед}}$  – уровень использования цифровых технологий в  $i$ -й строительной организации на стадиях проектирования и возведения соответственно, %;  $n$  – количество строительных организаций, функционирующих в рамках комплекса;  $i = 1, 2, \dots, n$  – порядковый

номер строительной организации;  $УЦУО_{i_{экспл}}$ ,  $УЦУО_{i_{контр}}$  – уровень использования цифровых технологий в  $i$ -й строительной организации на стадии эксплуатации и в рамках строительного контроля, %.

Определить показатели из формулы (5) можно следующим образом:

$$УЦУО_{i_{проект}} = \frac{\sum_{z=1}^l k_{iz_{проект}} b_z}{\sum_{z=1}^l b_z}; \quad (6)$$

$$УЦУО_{i_{возвед}} = \frac{\sum_{z=1}^l k_{iz_{возвед}} b_z}{\sum_{z=1}^l b_z}; \quad (7)$$

$$УЦУО_{i_{экспл}} = \frac{\sum_{z=1}^l k_{iz_{экспл}} b_z}{\sum_{z=1}^l b_z}; \quad (8)$$

$$УЦУО_{i_{контр}} = \frac{\sum_{z=1}^l k_{iz_{контр}} b_z}{\sum_{z=1}^l b_z}, \quad (9)$$

где  $k_{iz_{проект}}$ ,  $k_{iz_{возвед}}$  – уровень  $z$ -го показателя, установленный для  $i$ -й строительной организации при оценке цифровизации проектирования и возведения объектов соответственно, %;  $l$  – количество оцениваемых показателей цифровизации;  $z = 1, 2, \dots, l$  – порядковый номер показателя цифровизации;  $b_z$  – вес  $z$ -го показателя цифровизации;  $k_{iz_{экспл}}$ ,  $k_{iz_{контр}}$  – уровень  $z$ -го показателя, установленный для  $i$ -й строительной организации при оценке цифровизации эксплуатации и контроля объектов соответственно, %.

Показатели, предлагаемые к оценке при определении уровня информатизации цифровизации ключевых управленческих областей с учетом их веса, отражены в табл. 2. Выбор показателей, оцениваемых при вычислении уровня цифровизации ключевых управленческих областей, осуществляется с учетом стадий жизненного цикла объекта строительства, а определение весовых коэффициентов – исходя из потенциального эффекта от применения конкретных цифровых инструментов. Наиболее высокие весовые характеристики были установлены для показателей, характеризующих использование BIM-моделирования на стадиях проектирования и строительства, что обусловлено высокой значимостью данных технологий и существенным вниманием к их внедрению со стороны государственных органов. Составляющую, обеспечивающую комплексную оценку уровня цифровизации экономики строительства в виде уровня цифрового взаимодействия строительных организаций во внутренней и внешней среде, можно рассчитывать по формуле

$$УЦВ = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n УЦВ_{i_{ув.внутр}}}{n} + \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n УЦВ_{i_{ув.внешн}}}{n}, \quad (10)$$

где  $УЦВ_{i_{ув.внутр}}$  – степень «сшивки» (взаимувязки) используемых  $i$ -й строительной организацией цифровых технологий во внутренних бизнес-процессах, %;  $n$  – количество строительных организаций, функционирующих в рамках комплекса;  $i = 1, 2, \dots, n$  – порядковый номер строительной организации;  $УЦВ_{i_{ув.внешн}}$  – степень «сшивки» (взаимувязки) используемых  $i$ -й строительной организацией цифровых технологий с аналогичными решениями, применяемыми в деятельности иных участников строительного рынка.

**Таблица 2.** Показатели, предлагаемые к оценке при определении уровня цифровизации ключевых управленческих областей  
**Table 2.** Indicators proposed for assessment when determining the level of digitalization of key management areas

Обозначение показателя / Indicator designation	Наименование показателя / Name of indicator	Вес показателя / Indicator weight	Оценка уровня по показателю, % / Level assessment by indicator, %
<b>Оценка внедрения цифровых технологий на стадии проектирования</b>			
$k_{i1_{\text{проект}}}$	ВМ-моделирование на стадии проектирования	0,40	Устанавливается в границах 0–100 % в зависимости от степени использования каждого вида цифровых технологий (например, при ВМ-моделировании на стадии проектирования в рамках половины из выполняемых работ уровень по данному показателю составит 50 %; а при GPS-трекинге исключительно для контроля перемещения техники без контроля сотрудников и перемещения инвентаря уровень по этим показателям составит 30 %)
$k_{i2_{\text{проект}}}$	GIS на стадии проектирования	0,20	
$k_{i3_{\text{проект}}}$	Цифровые технологии при проведении сметных расчетов		
$k_{i4_{\text{проект}}}$	Цифровые технологии при оценке эффективности строительных проектов		
<b>Оценка внедрения цифровых технологий на стадии возведения объектов</b>			
$k_{i1_{\text{возвед}}}$	ВМ-моделирование на стадии строительства	0,40	Устанавливается в границах 0–100 % в зависимости от степени использования каждого вида цифровых технологий (например, при ВМ-моделировании на стадии проектирования в рамках половины из выполняемых работ уровень по данному показателю составит 50 %; а при GPS-трекинге исключительно для контроля перемещения техники без контроля сотрудников и перемещения инвентаря уровень по этим показателям составит 30 %)
$k_{i2_{\text{возвед}}}$	Цифровые технологии для поиска и подбора материалов и поставщиков	0,20	
$k_{i3_{\text{возвед}}}$	Цифровые технологии для мониторинга актуального состояния цен		
$k_{i4_{\text{возвед}}}$	Автоматизация доступа сотрудников на объект		
<b>Оценка внедрения цифровых технологий на стадии эксплуатации объектов</b>			
$k_{i1_{\text{экспл}}}$	ВМ-моделирование на стадии эксплуатации	0,20	Устанавливается в границах 0–100 % в зависимости от степени использования каждого вида цифровых технологий (например, при ВМ-моделировании на стадии проектирования в рамках половины из выполняемых работ уровень по данному показателю составит 50 %; а при GPS-трекинге исключительно для контроля перемещения техники без контроля сотрудников и перемещения инвентаря уровень по этим показателям составит 30 %)
$k_{i2_{\text{экспл}}}$	Цифровые технологии для управления инженерными системами на объектах		
$k_{i3_{\text{экспл}}}$	Цифровые технологии в рамках взаимодействия с собственниками		
$k_{i4_{\text{экспл}}}$	Технологии для учета потребления ресурсов		
$k_{i5_{\text{экспл}}}$	Цифровые технологии для управления доступом собственников к объектам		
<b>Оценка внедрения цифровых технологий при организации контроля</b>			
$k_{i1_{\text{контр}}}$	ВМ-моделирование для контроля	0,20	Устанавливается в границах 0–100 % в зависимости от степени использования каждого вида цифровых технологий (например, при ВМ-моделировании на стадии проектирования в рамках половины из выполняемых работ уровень по данному показателю составит 50 %; а при GPS-трекинге исключительно для контроля перемещения техники без контроля сотрудников и перемещения инвентаря уровень по этим показателям составит 30 %)
$k_{i2_{\text{контр}}}$	Цифровые технологии для внутренней системы контроля (мониторинг, наблюдение, выявление недостатков и их учет)		
$k_{i3_{\text{контр}}}$	Цифровые технологии для контроля рабочего времени		
$k_{i4_{\text{контр}}}$	GPS-трекинг для контроля перемещения сотрудников, инвентаря и техники		
$k_{i5_{\text{контр}}}$	Цифровые технологии в границах государственного строительного контроля		

Приведенные в (10) показатели определяются следующим образом:

$$\text{УЦВ}_{i_{\text{ув.внутр}}} = \frac{\sum_{p=1}^s x_{ip_{\text{ув.внутр}}} c_p}{\sum_{p=1}^s c_p}; \quad (11)$$

$$\text{УЦВ}_{i_{\text{ув.внешн}}} = \frac{\sum_{p=1}^s x_{ip_{\text{ув.внешн}}} c_p}{\sum_{p=1}^s c_p}, \quad (12)$$

где  $x_{ip_{ув.внутр}}$  – уровень  $p$ -го показателя «сшивки» (взаимоувязки), установленный для  $i$ -й строительной организации при оценке внутренних бизнес-процессов, %;  $s$  – количество оцениваемых показателей «сшивки»;  $p = 1, 2, \dots, s$  – порядковый номер показателя «сшивки»;  $c_p$  – вес  $p$ -го показателя «сшивки»;  $x_{ip_{ув.внешн}}$  – уровень  $p$ -го показателя «сшивки», установленный для  $i$ -й строительной организации при взаимодействии с аналогичными решениями, применяемыми в деятельности иных участников строительного рынка, %.

Совокупность показателей, предлагаемых к оценке при определении уровня цифрового взаимодействия с учетом их весовых коэффициентов, представлена в табл. 3.

**Таблица 3.** Показатели, предлагаемые к оценке при определении уровня цифрового взаимодействия  
**Table 3.** Indicators proposed for assessment when determining the level of digital interaction

Обозначение показателя / Indicator designation	Наименование показателя / Name of indicator	Вес показателя / Indicator weight	Оценка уровня по показателю, % / Level assessment by indicator, %
Степень «сшивки» (взаимоувязки) используемых цифровых технологий во внутренних бизнес-процессах			
$x_{i1_{ув.внутр}}$	Наличие единой системы, предоставляющей возможность использования всех цифровых инструментов	0,20	Устанавливается в границах 0–100 % в зависимости от степени использования цифровых технологий в рамках цифрового взаимодействия (например, при BIM-моделировании на двух стадиях строительства (проектирование, возведение) устанавливается уровень 50 %, на трех (проектирование, возведение, контроль) – 75 %)
$x_{i2_{ув.внутр}}$	BIM-моделирование на всех стадиях строительства	0,40	
$x_{i3_{ув.внутр}}$	Перевод взаимодействия сотрудников в цифровой формат, обеспечение цифрового доступа ко всем необходимым файлам	0,20	
$x_{i4_{ув.внутр}}$	Автоматизация внесения изменений, обеспечивающая единый ввод и дальнейшую автоматическую корректировку всех систем		
Степень «сшивки» (взаимоувязки) используемых цифровых технологий с аналогичными решениями, применяемыми в деятельности иных участников строительного рынка			
$x_{i1_{ув.внешн}}$	Цифровые технологии при взаимодействии с клиентами, поставщиками и государственными органами на всех этапах жизненного цикла объекта строительства	0,40	
$x_{i2_{ув.внешн}}$	Автоматизация электронного обмена данными для взаимодействия с клиентами, поставщиками, государственными органами	0,30	
$x_{i3_{ув.внешн}}$	Цифровые инструменты для актуализации цен, тарифов, курсов		

Весовые коэффициенты  $c_p$  определяли исходя из потенциального эффекта, возможного к получению от каждого варианта «сшивки» (взаимоувязки) цифровых инструментов. Так, с учетом того, что внедрение BIM-технологий, в том числе через создание информационных систем для поддержки жизненного цикла зданий и сооружений во взаимодействии с информационной моделью BIM, в настоящее время выступает ключевым направлением цифровизации, развиваемым со стороны государства и поддерживаемым на уровне нормативной базы. Этому показателю был установлен вес 0,40. Аналогичная весовая характеристика присвоена показателю «Цифровые технологии при взаимодействии с клиентами, поставщиками и государственными органами на всех этапах жизненного цикла объекта строительства», поскольку установление такого факта свидетельствует о полной цифровой интеграции строительной компании во внешнюю среду.

Важно подчеркнуть, что при расширении представленного перечня иными показателями или установлении дополнительных эффектов от использования какого-либо инструмента цифровизации весовые характеристики могут быть пересмотрены. Единственным ограничением является применение нового варианта расчета для всех сопоставляемых объектов.

Расчет итогового показателя по формуле (1) позволит установить уровень цифровизации строительной отрасли, отражающий степень использования цифровых технологий и обеспечения цифрового взаимодействия в строительных организациях в целом по стране. В данном контексте установление величины в 10 % будет означать, что в среднем лишь 10 % строительных компаний реально используют современные технологии в своей текущей деятельности, и соответственно получение 100 % будет означать, что цифровые технологии составляют основу для принятия управленческих решений и организации процесса строительства во всех строительных организациях. Обоснование достаточности уровня цифровизации строительной отрасли при этом является весьма субъективным, однако в целом говорить о приемлемой его величине можно при достижении уровня 50 %, который может быть сопоставлен с уровнем цифровизации иных отраслей, а также со степенью цифровизации строительства в других странах.

Предлагаемая методика выступает базовым вариантом, который может трансформироваться (дополняться или сужаться) при изменении условий функционирования строительных компаний. Оценка уровня цифровизации в границах предложенной методики обеспечивает определение степени цифровизации отдельных строительных организаций с возможностью последующего установления общего уровня использования цифровых технологий в строительном комплексе. При этом с учетом многокомпонентности интегрального показателя подробный анализ полученных значений позволяет дополнительно определять, на каком этапе перехода к цифровой модели находятся компании и какие управленческие области или внешние взаимосвязи все еще не затронуты цифровыми инструментами.

### Заключение

1. В процессе исследования обоснована методика оценки уровня цифровизации строительного комплекса, предусматривающая последовательную оценку степени использования строительными организациями цифровых технологий на каждом этапе перехода к цифровой модели функционирования. Обоснование методики производилось с учетом имеющейся специфики цифровизации строительного комплекса, а также существующих подходов к оценке уровня использования цифровых технологий в различных экономических системах, предлагаемых международными компаниями.

2. Новизна предложенного методического подхода заключается в адаптации классических научных подходов к специфике строительного комплекса с одновременным обоснованием оценочной системы, позволяющей не только установить общий уровень цифровизации, но и выявить наименее цифровизированные области, а также определить, на каком этапе перехода к цифровой модели находятся отдельные строительные организации.

### Список литературы

1. Ежова, В. А. Теория отраслевых рынков / В. А. Ежова. СПб.: Санкт-Петерб. гос. технол. ун-т растит. полим., 2015. 40 с.
2. Кириченко, Л. П. Теория отраслевых рынков / Л. П. Кириченко, Т. В. Возбранная. Комсомольск-на-Амуре: Комс.-на-Амуре гос. техн. ун-т, 2012. 163 с.
3. Кияткина, Е. П. Экономика строительства / Е. П. Кияткина, С. В. Федорова. Самара: Самар. гос. строит.-арх. ун-т, 2011. 71 с.
4. Привалова, Н. В. Определение структуры отраслевого рынка / Н. В. Привалова // Национальные экономические системы в контексте формирования глобального экономического пространства: сб. науч. тр. Симферополь: Крымск. инж.-педаг. ун-т им. Февзи Якубова, 2019. С. 324–327.
5. Дубровский, Н. А. Экономика строительства / Н. А. Дубровский. Новополоцк: Полоцк. гос. ун-т им. Ефросинии Полоцкой, 2009. 336 с.
6. Гануш, Г. И. Национальная экономика Беларуси. Практикум / Г. И. Гануш, И. В. Кулага. Минск: Белор. гос. аграр. техн. ун-т, 2021. 136 с.
7. Мищенко, А. С. Обеспечение сбалансированного экономического роста строительного комплекса Республики Беларусь / А. С. Мищенко. Минск: Белор. гос. экон. ун-т, 2021. 26 с.
8. Мищенко, А. С. Ключевые барьеры и перспективная модель цифровизации строительства / А. С. Мищенко // Белорусский экономический журнал. 2023. № 1. С. 104–116.

## References

1. Ezhova V. A. (2015) *The Theory of Industry Markets*. Saint Petersburg, Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers. 40 (in Russian).
2. Kirichenko L. P., Vozbrannaya T. V. (2012) *Theory of Branch Markets*. Komsomolsk-na-Amure, Komsomolsk-na-Amure State University. 163 (in Russian).
3. Kiyatkina E. P., Fedorova S. V. (2011) *Economics of Construction*. Samara, Samara State University of Architecture and Civil Engineering. 71 (in Russian).
4. Privalova N. V. (2019) Determination of the Structure of the Sectoral Market. *National Economic Systems in the Context of the Formation of the Global Economic Space, Sb. Nauch. Tr.* Simferopol, Crimean State Engineering Pedagogical University. 324–327 (in Russian).
5. Dubrovskii N. A. (2009) *Economics of Construction*. Novopolotsk, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk. 336 (in Russian).
6. Ganush G. I., Kulaga I. V. (2021) *National Economy of Belarus. Workshop*. Minsk, Belarusian State Agrarian Technical University. 136 (in Russian).
7. Mishhenko A. S. (2021) *Ensuring Balanced Economic Growth of the Construction Complex of the Republic of Belarus*. Minsk, Belarusian State Economic University. 26 (in Russian).
8. Mishchenko A. S. (2023) Key Barriers and a Promising Model of Construction Digitalization. *Belarusian Economic Journal*. (1), 104–116 (in Russian).

## Сведения об авторе

**Мищенко А. С.**, к. э. н., доцент кафедры организации и управления Белорусского государственного экономического университета

## Адрес для корреспонденции

220020, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Камайская, 12–74  
Тел.: +375 29 648-25-75  
E-mail: 6482575@mail.ru  
Мищенко Артём Сергеевич

## Information about the author

**Mishchenko A. S.**, Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Organization and Management of the Belarusian State Economic University

## Address for correspondence

220020, Republic of Belarus,  
Minsk, Kamayskaya St., 12–74  
Tel.: +375 29 648-25-75  
E-mail: 6482575@mail.ru  
Mishchenko Artem Sergeevich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-34-40>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 336.7:004

## ВАЛЮТА И ЕЕ ЭВОЛЮЦИЯ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Е. Н. КОСТЮКОВА

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

*Поступила в редакцию 22.08.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Рассмотрена эволюция валюты в условиях цифровой трансформации. Представлены основные формы и отличительные черты фиатных денег, включая их современное развитие посредством цифровой формы. Проведен анализ сущности и особенностей использования электронных денег, их основных отличий. Аккумулирована и систематизирована информация по введению и использованию цифровой валюты центральных банков. Обусловлена актуальность введения цифровой валюты Центрального банка, перечислены ее отличия от криптовалюты. Объяснена сущность блокчейна, рассмотрен процесс его функционирования. Указаны основные модели функционирования цифровой валюты центральных банков, а также варианты осуществления трансграничных расчетов посредством использования цифровой валюты центральных банков. Представлены перспективы интеграции цифровых валют центральных банков, включая их влияние на проведение трансграничных расчетов.

**Ключевые слова:** валюта, наличная форма валюты, безналичная форма валюты, цифровая форма валюты, криптовалюта, блокчейн, цифровая валюта Центрального банка.

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

**Для цитирования.** Костюкова, Е. Н. Валюта и ее эволюция в условиях цифровой трансформации / Е. Н. Костюкова // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 34–40. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-34-40>.

## CURRENCY AND ITS EVOLUTION IN THE CONDITIONS OF DIGITAL TRANSFORMATION

HELENA N. KOSTYUKOVA

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

*Submitted 22.08.2023*

**Abstract.** The article discusses the evolution of the currency in the context of digital transformation. The main forms of fiat money are presented, including their modern development through digital form, as well as distinctive features. Attention is paid to the essence and features of the use of electronic money, their main differences. The focus is on the digital currency of the central bank. Information on the introduction and use of digital currency of central banks has been accumulated and systematized. The relevance of the introduction of the digital currency of the central bank is determined, its differences from the cryptocurrency are listed. The essence of the blockchain is explained and the process of its functioning is considered. The main models for the functioning of the digital currency of central banks, as well as options for cross-border settlements through the use of the digital currency of central banks, are indicated. The prospects for the integration of digital currencies of central banks are touched upon, including their impact on cross-border settlements.

**Keywords:** currency, cash form of currency, non-cash form of currency, digital form of currency, cryptocurrency, blockchain, Central Bank digital currency.

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

**For citation.** Kostyukova H. N. (2023) Currency and Its Evolution in the Conditions of Digital Transformation. *Digital Transformation*. 29 (4), 34–40. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-34-40> (in Russian).

## Введение

В современных условиях развития цифровизация получает широкое использование в различных сферах, включая экономическую, что привело к формированию понятия «цифровая экономика». Под цифровой понимают экономику, функционирующую в условиях гибридного мира, являющегося результатом слияния реального и виртуального миров, что делает возможным совершение всех наиболее необходимых действий в реальном мире посредством виртуального мира. Реализация этого процесса сопряжена с высокой эффективностью и низкой стоимостью информационно-коммуникационных технологий, а также доступностью цифровой инфраструктуры [1].

Сегодня большое внимание уделяется развитию цифровой экономики: разрабатываются государственные программы развития цифровой экономики, обсуждаются вопросы ее правового регулирования и безопасности, оценивается готовность стран к цифровой экономике. Интернет позволяет не только получать дистанционное образование, записаться на прием к специалисту, приобрести нужный товар и т. д., но и осуществлять платежи. Поэтому неудивительно, что цифровая трансформация коснулась и валюты. В свою очередь, необходимо проанализировать и систематизировать информацию по эволюции валюты в условиях цифровой трансформации, исследовать ее особенности с выделением основных форм фиатных денег, их современного развития.

## Результаты исследований и их обсуждение

Под валютой понимают денежную единицу соответствующего государства [2]. Выделяют различные виды валют: например, валюта может быть национальной и иностранной, международной, резервной и т. д. Но в условиях цифровой трансформации дальнейшее развитие получили формы валюты. Они, как правило, выделяются относительно фиатной валюты. Сегодня, кроме уже привычных форм валюты (наличной и безналичной), появляется цифровая форма [3]. Остановимся подробнее на каждой из них.

Так, наличная форма валюты – это официальные денежные средства в их физическом представлении. К ней относятся, например, банкноты и монеты. Безналичная форма валюты включает официальные денежные средства, которые хранятся на банковских счетах и находят применение в расчетах без использования наличных посредством перечисления с одного счета на другой [4]. При этом эволюция валюты в условиях цифровой трансформации способствовала появлению электронных денег, под которыми понимают хранящиеся в электронном виде единицы стоимости, выпущенные в обращение в обмен на наличные или безналичные официальные деньги. Они используются в качестве средства платежа для расчетов с организацией, выпустившей эти единицы стоимости, а также с другими организациями или даже гражданами, если это предусмотрено законодательством.

Электронные деньги хранятся не на банковских счетах, а в электронных онлайн-кошельках или на специальной пластиковой карточке с чипом и не требуют открытия банковского счета. Создается такой кошелек обычно онлайн или при обращении в банк. Для того чтобы в кошелек зачислить электронные деньги, его нужно пополнить реальными деньгами или перевести электронные деньги с иного электронного кошелька и др. Как правило, переводы электронных денег осуществляются мгновенно. Однако каждая система электронных денег требует соответствующего технического оснащения, поэтому не все продавцы товаров и услуг могут принимать их к оплате. Есть ряд законодательно установленных ограничений относительно электронных денег. В частности, электронные деньги нельзя разместить во вклад, на остаток электронных денег не начисляются проценты, электронные деньги не подпадают под действие закона о гарантированном возмещении банковских вкладов, финансовые организации не вправе предоставлять электронные деньги клиенту в кредит. В качестве примера можно выделить электронные

деньги таких систем, как WebMoney Transfer, «Берли», «МТС Деньги», V-coin, «Оплати», iPay, QIWIБел, ePay [5].

Таким образом, основным отличием электронных денег является то, что они:

- эмитируются организацией, а не Центральным банком страны;
- существуют в рамках платежной системы своего эмитента и не могут быть переведены в неизменном виде в другие платежные системы;
- хранятся на электронном устройстве;
- обращаются без использования банковских счетов;
- выпускаются после получения их эмитентом соответствующей суммы денежных средств.

На первый взгляд может сложиться впечатление, что электронные деньги относятся к безналичной форме валюты. Но это не совсем так, поскольку электронные деньги представляют собой обязательства, выраженные в электронной форме, по сути, – электронную валюту. В свою очередь, безналичная валюта является виртуальным отображением официальных наличных денег в виде записей на счетах, в то время как электронные деньги представляют собой самостоятельный инструмент, поскольку имеют своего эмитента (не Центральный банк) и такие свойства, как стоимость, конвертируемость [6].

Появлению и развитию электронных денег способствовало появление и распространение интернета. Электронные деньги стали своего рода преамбулой для последующего появления криптовалюты. Под криптовалютой понимают вид цифровой валюты, основанный на надежных механизмах шифрования (криптографии) и не имеющий единого эмиссионного центра [7]. Криптовалюта эмитируется посредством майнинга, для осуществления которого запускаются сложные вычисления на оборудовании соответствующего уровня. Основные затраты по майнингу состоят из затрат на приобретение необходимого оборудования и оплаты потребляемой энергии.

Криптовалюты функционируют на основе блокчейна, представляющего собой децентрализованно хранимую на разных компьютерах непрерывную цепочку блоков, каждый из которых содержит определенные данные и имеет метку времени и ссылку на предыдущий блок [8, 9]. В результате блокчейн содержит информацию обо всех операциях, совершаемых между участниками определенного процесса. В отличие от общепринятых баз данных, удаление или изменение информации в блокчейне считается практически недостижимым, но при этом можно добавлять новую [9]. Рассмотрим более детально процесс функционирования блокчейн-технологии на основе майнинга криптовалюты, например, биткоина.

Под майнингом биткоина понимают процесс получения данной криптовалюты в результате создания новых блоков, построенный на вычислении хеша, который необходим для попадания нового блока в блокчейн. Хеш представляет собой строку символов фиксированной длины, которая генерируется для каждого набора данных индивидуально. Хеш получают посредством вычислений по преобразованию массива входных данных различной длины в выходную строку фиксированной длины, что возможно лишь в случае владения всем предыдущим массивом данных об операциях, осуществляемых с этой криптовалютой. Далее в сети проверяется хеш блока, после чего новый блок присоединяется к блокчейну. При этом вознаграждение в виде криптовалюты получает первый майнер, получивший новый хеш. Таким образом, подтверждается правильность транзакций в блоке и гарантируется его легитимность.

При переводе биткоинов информация об адресе, куда переводятся средства, указывается с помощью публичного ключа, который используется для шифрования транзакции. Для подтверждения права на перечисляемые средства требуется соответствующая цифровая подпись, позволяющая проверить подлинность операции в криптовалютной сети. Чтобы подтвердить операцию, необходимо установить подлинность адреса отправителя и его электронной подписи. Цифровая подпись представляет собой хеш, созданный на основе приватного ключа и самих подписываемых данных. То есть без публичного ключа отправитель средств не сможет запустить транзакцию; перевод не будет одобрен сетью, если в нем не будет цифровой подписи, для создания которой используется приватный ключ. В свою очередь, без приватного ключа получатель не сможет авторизовать перевод. Блокчейн биткоина функционирует на принципе взаимосвязи блоков: хеш нового блока ссылается на хеш расположенного перед ним блока. Поэтому изменения в старых блоках вызовут недействительность хешей для всех последующих блоков [10–14].

Выделяют два основных вида блокчейн-систем: открытые и закрытые. К открытым может присоединиться любой участник. Примером такой системы является блокчейн биткойна. Что касается закрытых систем, то они доступны лишь ограниченному кругу лиц. Поэтому на их основе можно организовать блокчейн, например, для одной или нескольких организаций [15].

Следовательно, эволюция валюты в условиях цифровой трансформации способствует формированию цифровой формы денег. Сюда же входит цифровой рубль, который представляет собой уникальный цифровой код, хранящийся в электронном кошельке на специальной платформе Центрального банка [3]. Согласно проекту концепции цифрового белорусского рубля, под последним понимают национальную валюту Республики Беларусь, эмитируемую Национальным банком Республики Беларусь и учитываемую на цифровых счетах участников платформы цифрового белорусского рубля, что отражено соответствующими цифровыми записями в реестре данной платформы [16]. Цифровой белорусский рубль будет функционировать на основе платформы с использованием блокчейна. Таким образом, цифровой рубль является цифровой валютой Центрального банка страны и представляет собой самостоятельную форму денег Центрального банка – цифровую, которая будет функционировать наравне с наличной и безналичной формами.

Можно выделить две основные модели цифровой валюты Центрального банка: оптовую и розничную. В первом случае национальная цифровая валюта выпускается для осуществления расчетов лишь между банками. В розничной модели цифровые кошельки открываются не только для банков, но и для физических и юридических лиц [17]. Актуальность создания цифровой валюты Центрального банка обусловлена, прежде всего, ростом популярности безналичной формы валюты. В табл. 1 представлены такие показатели денежной массы, как денежные агрегаты  $M_0$  и  $M_1$ .

**Таблица 1.** Показатели денежной массы – денежные агрегаты  $M_0$  и  $M_1$  в Республике Беларусь, млн руб.  
**Table 1.** Money supply indicators –  $M_0$  and  $M_1$  monetary aggregates in the Republic of Belarus, million rubles

Показатель / Indicator	01.07.2016	01.07.2019	Изменение показателя 2019 к 2016, % / Change in indicator 2019 to 2016, %	01.07.2023	Изменение показателя 2023 к 2019, % / Change in indicator 2023 to 2019, %
Наличные деньги в обороте ( $M_0$ )	1692,8	3243,1	191,6	8574,4	264,4
Переводные депозиты	2566,9	5534,0	215,6	12479,0	225,5
Денежный агрегат $M_1$	4259,6	8777,1	206,1	21053,4	239,9
<i>Примечание</i> – Составлено автором на основе [18].					

Как видно из табл. 1, все показатели характеризовались растущей динамикой в исследуемом периоде. При этом объем переводных депозитов постоянно превышал количество наличных денег в обороте (на 01.07.2016 более чем в 1,5 раза, на 01.07.2023 – почти в 1,5 раза), что подтверждает увеличение популярности безналичной формы денег. Кроме этого, создание цифровой валюты Центрального банка обусловлено широким распространением криптовалюты, создающейся без участия центральных и коммерческих банков, что чревато снижением или утратой финансового контроля центральными банками как в части эмиссии, так и в сфере обращения, дестабилизацией курса национальной валюты. Также созданию цифровой валюты Центрального банка способствуют возрастающая конкуренция в финансовом секторе и необходимость соответствовать современным запросам клиентов в части использования более дешевых, быстрых, удобных и безопасных денежных средств. Цифровая валюта может характеризоваться большей сохранностью по сравнению с наличной формой, поскольку уменьшается вероятность хищений, мошенничества и использования фальшивых денежных средств. В отличие от безналичных денег, цифровая валюта хранится на специальной платформе Центрального банка и функционирует на основе использования технологии блокчейн, что способствует достижению следующих основных преимуществ:

– повышается надежность и обеспечивается прозрачность расчетов, поскольку все операции с цифровой валютой фиксируются в блокчейне;

– происходит развитие новых платежных сервисов и финансовых инструментов посредством применения смарт-контрактов (более подробно со смарт-контрактами можно ознакомиться в [19]);

- сокращается количество посредников, удешевляются проводимые расчеты;
- повышаются конкурентные преимущества национальной платежной системы.

Кроме этого, по причине задействованности непосредственно самих центральных банков в осуществлении международных платежей с участием данной цифровой валюты будет уменьшаться неопределенность изменения валютных курсов, снижаться цена валютного риска по международным сделкам. Для государства использование цифровой валюты Центрального банка расширяет возможности централизованного мониторинга платежей и отменяет ограничения их использования на нежелательные цели (например, отмывание денег и т. д.). При этом необходимо понимать, что цифровой рубль Центрального банка и криптовалюта – не одно и то же, поскольку основные свойства криптовалюты сводятся к анонимности и децентрализованности, то есть к отсутствию единого эмитента. Поэтому криптовалюта зачастую не имеет официального статуса, не контролируется в полной мере государственными институтами, в результате чего подвержена значительным колебаниям валютного курса. В то же время цифровой рубль будет эмитироваться Центральным банком страны, который будет нести обязательства за его выпуск и обращение.

При осуществлении транзакций с цифровым рублем Центрального банка, например, при совершении покупки, цифровые рубли будут списываться у покупателя и зачисляться продавцу в размере соответствующей суммы. Но если сейчас счета продавца и покупателя при безналичной форме расчетов хранятся в банках и зачастую в разных, то при использовании цифрового рубля их кошельки будут храниться на специальной платформе Центрального банка. Осуществление трансграничных расчетов посредством использования цифровой валюты предусматривает два основных варианта:

- интеграцию двух платформ цифровых валют двух стран;
- взаимодействие платформ национальных цифровых валют через определенную общую систему.

Если между странами будут достигнуты договоренности по взаимодействию на уровне национальных цифровых валют, это может заменить SWIFT, поскольку платежи и сопровождающая их информация будут проходить по иной расчетной инфраструктуре. Более того, развитие интеграции цифровых валют в перспективе может привести к созданию общей цифровой валюты для стран БРИКС и существенно упростить расчеты [17].

## Заключение

1. Исследована эволюция валюты в условиях цифровой трансформации. Сегодня, наряду с уже традиционными формами валюты – наличной и безналичной, – формируется новая – цифровая, куда будет входить цифровой рубль Центрального банка.

2. Цифровой рубль является цифровой валютой Центрального банка страны и представляет собой самостоятельную форму денег Центрального банка. Однако цифровой рубль Центрального банка и криптовалюта – не одно и то же, поскольку основные свойства криптовалюты сводятся к анонимности и децентрализованности. Криптовалюта зачастую не имеет официального статуса, затруднен ее контроль государственными институтами, она создается без участия центральных и коммерческих банков, что чревато снижением или утратой финансового контроля как в части эмиссии, так и в сфере обращения. А цифровой рубль будет эмитироваться Центральным банком страны, который будет нести обязательства за его выпуск и обращение. Платформой цифровой валюты Центрального банка будет совершенствоваться национальная платежная система, повышая конкурентные преимущества и адаптируясь к различным стратегиям Центрального банка.

## Список литературы

1. Дубовик, С. Цифровая экономика: успеть за будущим [Электронный ресурс] / С. Дубовик, В. Бельский // Научная, производственно-практическая газета Беларуси «Навука». Режим доступа: <http://gazeta.navuka.by/novosti/1517-tsifrovaya-ekonomika>. Дата доступа: 07.10.2019.
2. Курс валют: что такое плавающий курс [Электронный ресурс] // Финансовая культура. Режим доступа: <https://fincult.info/article/kurs-valyut-cto-takoe-plavayushchiy-kurs/#:~:text=>. Дата доступа: 27.07.2023.

3. Городилов, М. Цифровой рубль: что это такое [Электронный ресурс] / М. Городилов // Тинькофф журнал. Режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/guide/digital-currency/>. Дата доступа: 27.07.2023.
4. Чигир, Н. Наличные и безналичные деньги: основные понятия [Электронный ресурс] / Н. Чигир // Криптоплатформа *currency.com*. Режим доступа: <https://currency.com/ru/chto-takoe-dengi>. Дата доступа: 27.07.2023.
5. Электронные деньги [Электронный ресурс] // Единый портал финансовой грамотности. Режим доступа: <http://fingramota.by/ru/guide/cashless-payments/electronic-money>. Дата доступа: 27.07.2023.
6. Как законодательство Беларуси регулирует электронные деньги и криптовалюты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://devby.io/news/kak-zakonodatelstvo-belarusi-reguliruet-elektronnye-dengi-i-kriptovalyuty#:~:text=>. Дата доступа: 30.07.2023.
7. Вольский, В. Что такое криптовалюта и как ее заработать? Развернутый путеводитель в вопросах и ответах [Электронный ресурс] / В. Вольский // МТБлог. Режим доступа: <http://mtblog.mtbank.by/chto-takoe-kriptovalyuta-i-kak-ee-zarabotat-razvernutyj-putevoditel-v-voprosah-i-otvetah/>. Дата доступа: 27.07.2023.
8. Блокчейн [Электронный ресурс] // Словарь терминов Alpari. 1998–2020. Режим доступа: <https://alpari.com/ru/beginner/glossary/blockchain/>. Дата доступа: 22.02.2020.
9. Блокчейн: что это такое и как его используют в финансах [Электронный ресурс] // Финансовая культура. 2020. Режим доступа: <https://fincult.info/article/blokcheyn-chto-eto-takoe-i-kak-ego-ispolzuutv-finansakh/>. Дата доступа: 29.04.2020.
10. Морген, П. Блокчейн: как он работает и почему эта технология изменит мир [Электронный ресурс] / П. Морген // Блог компании IT Capital. Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/itcapital/blog/340992/>. Дата доступа: 29.04.2020.
11. Как работает майнинг биткойна [Электронный ресурс] // ForkLog. Режим доступа: <https://forklog.com/sryptorium/chto-takoe-majning#:~:text=>. Дата доступа: 25.09.2023.
12. Что такое майнинг криптовалют? [Электронный ресурс] // WhiteBIT. Режим доступа: <https://blog.whitebit.com/what-is-cryptocurrency-mining/>. Дата доступа: 25.09.2023.
13. Публичные ключи и приватные ключи: как они работают [Электронный ресурс] // Блог Binance. Режим доступа: <https://www.binance.com/ru/blog/chain/8-2-421499824684903332>. Дата доступа: 01.10.2023.
14. Лукин, Е. Что такое приватный ключ / Е. Лукин // *crypto.ru*. Режим доступа: <https://crypto.ru/privatniy-kluch/>. Дата доступа: 01.10.2023.
15. Лузгина, А. Блокчейн – это не только криптовалюты [Электронный ресурс] / А. Лузгина // Белорусы и рынок. 2018. 19 ноября. Режим доступа: <http://www.belmarket.by/blokcheyn-eto-ne-tolko-kriptovalyuty>. Дата доступа: 10.04.2020.
16. Проект концепции цифрового белорусского рубля [Электронный ресурс] // Национальный банк Республики Беларусь. Режим доступа: <https://www.nbrb.by/payment/digital-ruble.pdf>. Дата доступа: 31.07.2023.
17. Агеева, О. Интеграция цифровых валют реально может заменить SWIFT [Электронный ресурс] / О. Агеева, Г. Перемитин // Банк России. Режим доступа: <https://www.cbr.ru/press/event/?id=16893>. Дата доступа: 03.08.2023.
18. Широкая денежная масса [Электронный ресурс] // Национальный банк Республики Беларусь. Режим доступа: <https://www.nbrb.by/statistics/monetarystat/broadmoney>. Дата доступа: 02.07.2023.
19. Костюкова, Е. Н. Смарт-контракт и его использование в логистике / Е. Н. Костюкова // Бизнес. Образование. Экономика: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 7–8 апреля 2022 г. Минск: Институт бизнеса Белор. гос. ун-та, 2022. С. 514–516.

## References

1. Dubovik S., Belsky V. (2018) Digital Economy: Keeping up with the Future. *Scientific, Production and Practical Newspaper of Belarus "Navuka"*. (14). Available: <http://gazeta-navuka.by/novosti/1517-tsifrovaya-ekonomika> (Accessed 22 May 2012) (in Russian).
2. Exchange Rate: What is a Floating Rate. *Financial Culture*. Available: <https://fincult.info/article/kurs-valyut-chto-takoe-plavayushchiy-kurs#:~:text=> (Accessed 27 July 2023) (in Russian).
3. Gorodilov M. (2023) Digital Ruble: What is It. *Tinkoff Magazine*. Available: <https://journal.tinkoff.ru/guide/digital-currency/> (Accessed 27 July 2023) (in Russian).
4. Chigir N. (2023) Cash and Non-Cash Money: Basic Concepts. *Crypto Platform currency.com*. Available: <https://currency.com/ru/chto-takoe-dengi> (Accessed 27 July 2023) (in Russian).
5. Electronic Money. *Unified Financial Literacy Portal*. Available: <http://fingramota.by/ru/guide/cashless-payments/electronic-money> (Accessed 27 July 2023) (in Russian).

6. *How Belarusian Legislation Regulates Electronic Money and Cryptocurrencies*. Available: <https://devby.io/news/kak-zakonodatelstvo-belarusi-reguliruet-elektronnyye-dengi-i-kriptovalyuty#:~:text=> (Accessed 30 July 2023) (in Russian).
7. Vol'skiy V. (2022) What Is Cryptocurrency and How to Earn It? An Extended Guide in Questions and Answers. *MTBlog*. Available: <http://mtblog.mtbank.by/chto-takoe-kriptovalyuta-i-kak-ee-zarabotat-razvernutyj-putevoditel-v-voprosah-i-otvetah/> (Accessed 9 August 2022) (in Russian).
8. Blockchain. *Alpari Glossary of Terms*. 1998–2020. Available at: <https://alpari.com/ru/beginner/glossary/blockchain/> (Accessed 22 February 2020) (in Russian).
9. Blockchain: What Is It and How Is It Used in Finance. *Financial Culture*. 2020. Available: <https://fincult.info/article/blokcheyn-chto-eto-takoe-i-kak-ego-ispolzuyut-v-finansakh/> (Accessed 29 April 2020) (in Russian).
10. Morgen P. (2020) Blockchain: How It Works and Why This Technology Will Change the World. *ITI Capital Blog*. Available: <https://habr.com/ru/company/iticapital/blog/340992/> (Accessed 29 April 2020) (in Russian).
11. How Does Bitcoin Mining Work. *ForkLog*. Available: <https://forklog.com/cryptorium/chto-takoe-majning#:~:text=> (Accessed 25 September 2023) (in Russian).
12. What Is Cryptocurrency Mining? *WhiteBIT*. Available: <https://blog.whitebit.com/what-is-cryptocurrency-mining/> (Accessed 25 September 2023) (in Russian).
13. Public Keys and Private Keys: How they Work. *Binance Blog*. Available: <https://blog.whitebit.com/what-is-cryptocurrency-mining/> (Accessed 1 October 2023) (in Russian).
14. Lukin E. (2023) What Is a Private Key. *crypto.ru*. Available: <https://crypto.ru/privatniy-klyuch/> (Accessed 1 October 2023) (in Russian).
15. Luzgina A. (2018) Blockchain Is Not Only Cryptocurrencies. *Belarusians and the Market*. 19 Nov. Available: <http://www.belmarket.by/blokcheyn-eto-ne-tolko-kriptovalyuty> (Accessed 10 April 2020) (in Russian).
16. Draft Concept of the Digital Belarusian Ruble. *National Bank of the Republic of Belarus*. Available: <https://www.nbrb.by/payment/digital-ruble.pdf> (Accessed 31 July 2023) (in Russian).
17. Ageyeva O., Peremitin G. (2023) The Integration of Digital Currencies Can Really Replace SWIFT. *Bank of Russia*. Available: <https://www.cbr.ru/press/event/?id=16893> (Accessed 3 August 2023) (in Russian).
18. *Broad Money Supply*. *National Bank of the Republic of Belarus*. Available: <https://www.nbrb.by/statistics/monetarystat/broadmoney> (Accessed 2 July 2023) (in Russian).
19. Kostyukova E. N. (2022) Smart Contract and Its Use in Logistics. *Business. Education. Economics: Sat. Art. Intl. Scient.-Pract. Conf., Minsk, April 7–8, 2022*. Minsk, School of Business of Belarusian State University. 514–516 (in Russian).

#### Сведения об авторе

**Костюкова Е. Н.**, к. э. н., доцент кафедры логистики 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

**Kostyukova H. N.**, Cand. of Sci., Associate Professor at the Logistics Department of the School of Business of Belarusian State University

#### Address for correspondence

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



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-41-49>

*Оригинальная статья*  
*Original paper*

УДК 004.042

## АЛГОРИТМ РАЗРАБОТКИ И МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

В. А. ГЕРАСИМОВ<sup>1</sup>, О. В. БОЙПРАВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт технической защиты информации  
(г. Минск, Республика Беларусь)

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

Поступила в редакцию 16.02.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Статья посвящена результатам обоснования и создания алгоритма разработки программного средства для преобразования информации, которое целесообразно задействовать в процессе цифровой трансформации образования в высших учебных заведениях. В ходе обоснования этого алгоритма определена роль изучения вопросов, касающихся преобразования информации, в формировании профессиональных компетенций будущих специалистов в сфере информационных технологий; определены преимущества использования языка С по сравнению с другими языками программирования для разработки программного средства; рассмотрены возможности работы с памятью при помощи указателей на языке программирования С. Представлены ключевые фрагменты кода программного средства, разработанного в соответствии с предложенным алгоритмом, связанные с преобразованием текстовой информации в числовые данные и числовых данных в текстовую информацию. Продемонстрированы примеры работы этого программного средства и представлены пути его использования при проведении лабораторных или практических работ по дисциплинам, тематика которых связана с информационными технологиями, со студентами 1-го и 2-го курсов. Определены пути усовершенствования предложенного алгоритма, направленные на увеличение количества учебных дисциплин, в рамках которых целесообразно использовать разработанное программное средство.

**Ключевые слова:** языки программирования, образование, указатели, работа с памятью, позиционные системы счисления, межпредметные связи, преобразование информации.

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

**Для цитирования.** Герасимов, В. А. Алгоритм разработки и методика использования в учебном процессе программного средства для преобразования информации / В. А. Герасимов, О. В. Бойправ // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 41–49. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-41-49>.

## ALGORITHM OF DEVELOPMENT AND METHODOLOGY OF USING SOFTWARE FOR INFORMATION CONVERSION IN THE EDUCATIONAL PROCESS

VYACHESLAV A. GERASIMOV<sup>1</sup>, OLGA V. BOYPRAV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Scientific Research Institute of Technical Protection of Information (Minsk, Republic of Belarus)

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

Submitted 16.02.2023

**Abstract.** The article is devoted to the results of substantiation and creation of the algorithm for the development of a software tool for information transformation, which is advisable to be used in the process of digital transformation of education in higher educational institutions. In the course of substantiating this algorithm, the role of studying issues related to the information transformation in the formation of professional competencies of future specialists in the field of information technology is determined; the advantages of using the C language in comparison with other programming languages for software development are determined; the possibilities of working with memory using pointers in the C programming language are considered. The key code fragments of a software tool developed in accordance with the proposed algorithm related to the transformation of textual information into numeric data and numeric data into textual information are presented. Examples of the operation of this software tool are demonstrated and the ways for its use is presented when conducting laboratory or practical work in disciplines whose topics are related to information technology, with students of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> years of study. The ways of improving the proposed algorithm aimed at increasing the number of academic disciplines, within which it is advisable to use the software developed in accordance with it, are determined.

**Keywords:** programming languages, education, pointers, working with memory, positional number systems, interdisciplinary communications, information transformation.

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

**For citation.** Gerasimov V. A., Boyprav O. V. (2023) Algorithm of Development and Methodology of Using Software for Information Conversion in the Educational Process. *Digital Transformation*. 29 (4), 41–49. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-41-49> (in Russian).

### Введение

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения количества информации, предоставляемой в электронной форме, что обусловлено цифровой трансформацией промышленности, сельского хозяйства, здравоохранения, образования. Эта трансформация связана с такими процессами, как внедрение системы электронного документооборота [1] в деятельность промышленных и сельскохозяйственных предприятий<sup>1</sup>, разработка электронных карточек пациентов [2] и электронных рецептов в сфере здравоохранения<sup>2</sup>, применение дистанционных образовательных технологий<sup>3</sup> учителями школ и преподавателями средних специальных и высших учебных заведений [3]. Динамика изменения удельного веса учреждений общего среднего образования, участвующих в проекте «Электронная школа», за 2016–2021 годы следующая<sup>4</sup>: 2016-й – 2,5 %, 2017 – 16,4 %, 2018 – 16,4 %, 2019 – 59 %, 2020 – 80 %, 2021-й – 85 %. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь<sup>4</sup>, прирост возможностей использования электронных карточек пациентов и электронных рецептов в сфере здравоохранения с 2016 по 2021 год составляет: 2016-й – 25 %, 2017 – 69,1 %, 2018 – 76 %, 2019 – 95,3 %, 2020 – 97,7 %, 2021-й – 97,2 %.

<sup>1</sup> Внедрение электронного документооборота в Беларуси: проблемы и пути их решения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/44666>. Дата доступа: 26.01.2023.

<sup>2</sup> Электронное здравоохранение в контексте национальной безопасности Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://libeloc.bsuir.by/bitstream/123456789/42753/1/Belyatskaya\\_Elektronnoye.pdf](https://libeloc.bsuir.by/bitstream/123456789/42753/1/Belyatskaya_Elektronnoye.pdf). Дата доступа: 26.01.2023.

<sup>3</sup> Дистанционное образование в Беларуси: проблемы и перспективы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/269815/1/529-534.pdf>. Дата доступа: 26.01.2023.

<sup>4</sup> Национальные статистические показатели развития цифровой экономики в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/informatsionno-telekommunikatsionnye-tehnologii/tsifrovaya-ekonomika/>. Дата доступа: 26.01.2023.

Статистические данные за 2021 год в сфере межведомственного документооборота<sup>5</sup> по областям в Республике Беларусь среди новых абонентов распределились следующим образом: Брестская область – 76,3 %, Витебская – 96,8 %, Гомельская – 99,6 %, Гродненская – 98,9 %, Минск – 149,9 %, Минская – 106,1 %, Могилевская область – 99,4 %.

В системе процессов, реализуемых в отношении информации, предоставляемой в электронной форме, важную роль играет процесс ее преобразования (кодирования)<sup>6</sup>. Это обусловлено тем, что данный процесс связан с оптимизацией памяти электронных носителей информации [4]. Поэтому знания о методах преобразования информации, хранимой на электронных носителях, являются ключевыми для формирования универсальных, базовых профессиональных и специализированных компетенций у будущих специалистов в сфере информационных технологий [5].

В связи с вышеизложенным в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники для студентов 1–2 курсов преподаются дисциплины, в рамках которых рассматриваются вопросы, связанные с преобразованием информации. К основным из таких дисциплин относятся: «Основы алгоритмизации и программирования», «Информационные системы и технологии», «Конструирование программного обеспечения», «Основы теории информации» [6]. Цель исследования, результаты которого представлены в статье, состояла в создании алгоритма разработки программного средства, которое целесообразно применять в ходе преподавания вышеперечисленных дисциплин для повышения наглядности теоретического материала, содержащего особенности преобразования информации (далее – программное средство).

### Алгоритм разработки программного средства

Разработку программного средства целесообразно выполнять с помощью языка программирования C. Это обусловлено следующими его преимуществами по сравнению с другими популярными языками программирования<sup>7</sup> (C#, Python, PHP, Java, JavaScript):

- использование при преподавании дисциплин для студентов 1–2 курсов университетов;
- невысокая продолжительность компиляции (интерпретации) программного кода;
- возможность работы с адресами памяти при помощи указателей без необходимости установки дополнительных компонентов или настройки интегрированной среды разработки.

Последнее из обозначенных преимуществ является наиболее существенным с точки зрения обоснования целесообразности использования языка C для разработки программного средства [7]. Данное преимущество обусловлено тем, что в языке программирования C с помощью указателей можно представлять символьную информацию (массив символов) в виде числовых данных путем явного приведения типов (рис. 1).

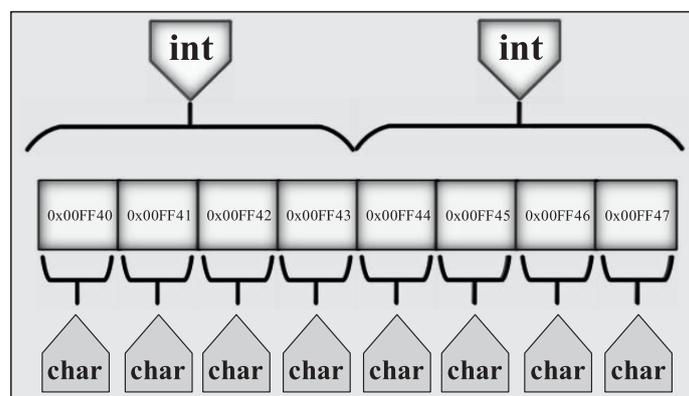


Рис. 1. Схема процесса обработки области памяти указателями разных типов  
Fig. 1. Scheme for processing a memory area by pointers of different types

<sup>5</sup> Статистика по СМДО [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://nces.by/smdo\\_statistics/](https://nces.by/smdo_statistics/). Дата доступа: 26.01.2023.

<sup>6</sup> Об информации, информатизации и защите информации [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://etalonline.by/document/?regnum=h10800455>. Дата доступа: 26.01.2023.

<sup>7</sup> Современные языки программирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/46982/1/Sovremennie\\_yaziki\\_programirovaniya.pdf](https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/46982/1/Sovremennie_yaziki_programirovaniya.pdf). Дата доступа: 26.01.2023.

Тем самым представлять каждый символ не в виде десятичного числа символа в кодировке ASCII, а в двоичной беззнаковой форме. Процесс обратного преобразования из числовых данных в текстовую информацию путем приведения типов позволяет придать набору цифр (чисел) читабельный вид.

Представим фрагмент кода, соответствующий алгоритму преобразования текстовой информации в числовые данные с помощью указателей:

```
...
1  for (int i = 0, j = 0; i < n; ++i, j += 4)
2  {
3      p = (uint*)(word + j);
4      fprintf(f, «%u\n», *p);
5  }
...
```

В приведенном фрагменте кода использованы следующие переменные:  $i$  – счетчик итераций;  $j$  – счетчик смещения указателя;  $n$  – количество итераций;  $p$  – указатель на область памяти целого беззнакового типа;  $word$  – беззнаковый массив символов;  $f$  – указатель на файл;  $uint$  – тип данных беззнаковый целый.

В ходе компиляции представленного фрагмента кода реализуется следующее:

- 1) ввод текста в ОЗУ с помощью клавиатуры;
- 2) расчет количества итераций явного приведения типов из `unsigned char*` в `unsigned int*` путем подсчета количества символов исходного текста без учета нуля терминатора (если количество символов не кратно 4, то количество итераций равно количеству символов, деленному на 4 + 1, иначе – деленному на 4);
- 3) операция явного приведения типов указателя на массив символов к указателю целого типа;
- 4) запись полученного значения в файл;
- 5) увеличение счетчика итераций на единицу;
- 6) увеличение счетчика на начало строки на 4;
- 7) повторение шагов 3, 4 до достижения количества итераций, полученных на шаге 2.

Схема алгоритма преобразования текстовой информации в числовые данные с помощью указателей представлена на рис. 2, схема алгоритма процесса обратного преобразования информации из числовой в текстовую с помощью указателей – на рис. 3.

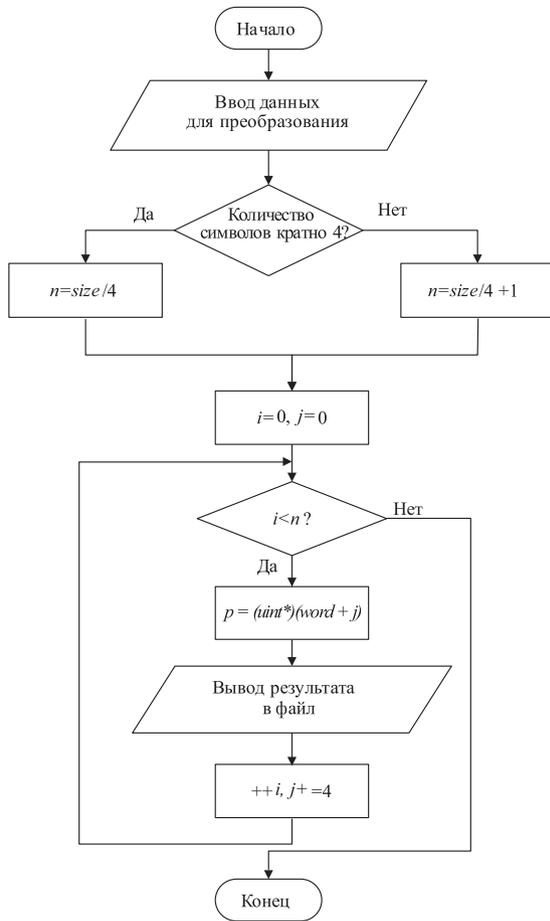
Представим фрагмент кода, соответствующий алгоритму преобразования числовых данных в текстовую информацию с помощью указателей:

```
...
1  for (int i = 0; i < n; ++i)
2  {
3      fscanf_s(f, «%u», bp);
4      buf = (uchar*)bp;
5      for (int j = 0; j < 4; j++)
6          fprintf(f2, «%c», *(buf + j));
7  }
...
```

В приведенном фрагменте кода использованы следующие переменные:  $i$  – счетчик итераций;  $j$  – счетчик смещения указателя;  $n$  – количество итераций;  $buf$  – указатель на область памяти беззнакового символьного типа;  $bp$  – указатель беззнакового целого типа;  $f, f2$  – указатели на файл;  $uchar$  – тип данных беззнаковый символьный.

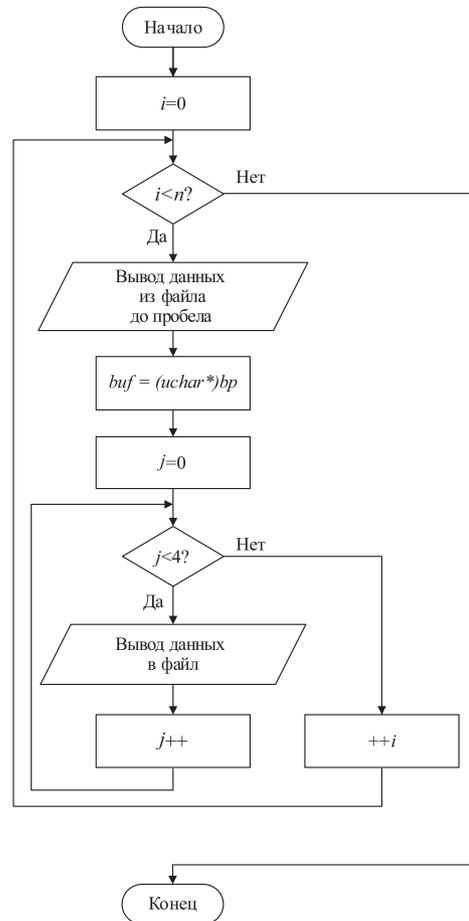
В ходе компиляции представленного фрагмента кода реализуется следующее:

- 1) считывание числовых данных из файла до тех пор, пока счетчик не примет значения количества итераций, полученных при преобразовании из текстовой информации в числовые данные;
- 2) операция явного приведения типов указателя целого типа к указателю на массив символов;
- 3) посимвольная запись полученных символов в файл;
- 4) повторение шагов 2, 3 до достижения количества итераций, полученных на шаге 1.



**Рис. 2.** Блок-схема алгоритма преобразования текстовой информации в числовые данные с помощью указателей

**Fig. 2.** Block diagram of the algorithm for converting text information into numeric data using pointers



**Рис. 3.** Блок-схема алгоритма преобразования числовых данных в текстовую информацию с помощью указателей

**Fig. 3.** Block diagram of the algorithm for converting numeric data into text information using pointers

### Результаты исследований и их обсуждение

Примеры работы проекта программного средства представлены на рис. 4, 5.

Для понимания того, как происходит преобразование, рассмотрим следующий пример. Представим слово Мата в виде числовых кодов таблицы ASCII. Это будут коды 77 97 109 97. С помощью операции присваивания и явного приведения типов происходит посимвольное преобразование из десятичного представления в двоичное (см. строку 3 фрагмента кода преобразования текстовой информации в числовые данные с помощью указателей):

$$\begin{aligned} 77_{10} &= 0100\ 1101_2; \\ 97_{10} &= 0110\ 0001_2; \\ 109_{10} &= 0110\ 1101_2; \\ 97_{10} &= 0110\ 0001_2. \end{aligned}$$

Происходит явное преобразование беззнакового символьного типа к беззнаковому числовому типу, поэтому порядок следования байт изменяется на противоположный, так как при двоичном представлении данных старший разряд стоит левее<sup>8</sup>, поскольку происходит оперирование не битами, а байтами. Таким образом, строка будет представлена в виде последовательности кодов 97 109 97 77. Все коды в двоичном виде конкатенируются и преобразуются в десятичное число. Используя калькулятор, найдем десятичное число, которое будет записано в файл (рис. 6).

<sup>8</sup> Big-Endian, Little-Endian. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/style-guide/a-z-word-list-term-collections/b/big-endian-little-endian> (Accessed 26 January 2023).

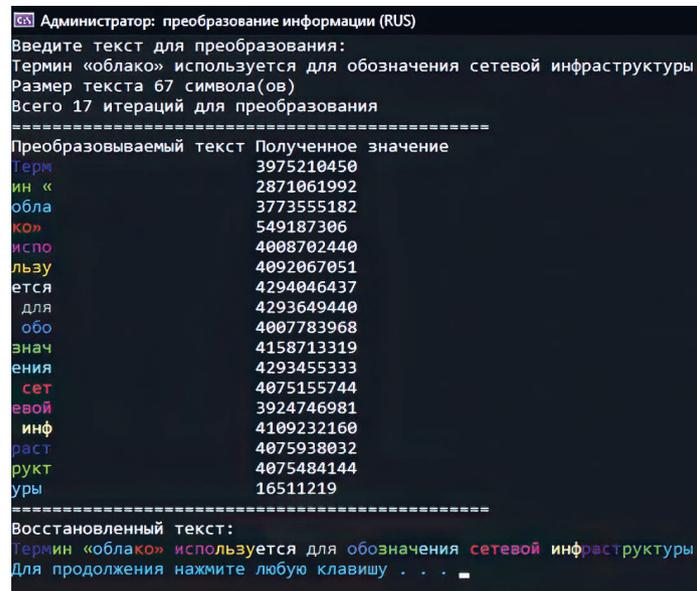


Рис. 4. Фрагмент диалогового окна с результатами преобразования текстовой информации на русском языке в числовые данные

Fig. 4. Dialog window fragment with the results of converting textual information in Russian into numerical data

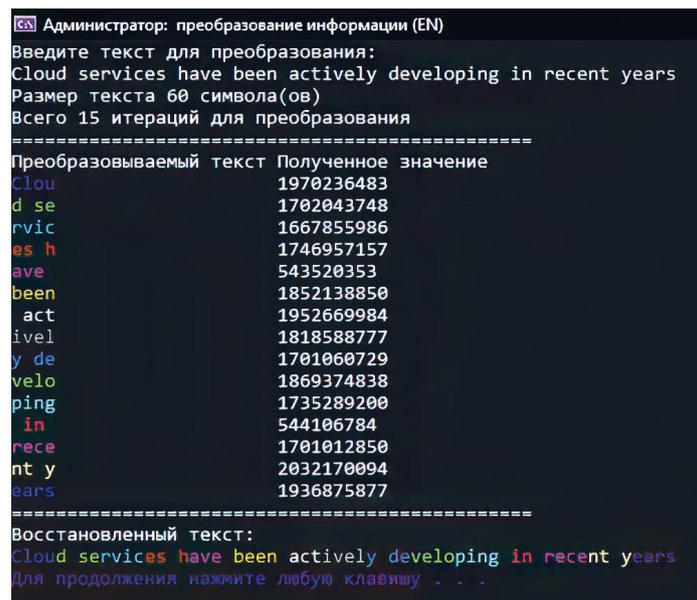


Рис. 5. Фрагмент диалогового окна с результатами преобразования текстовой информации на английском языке в числовые данные

Fig. 5. Dialog window fragment with the results for converting textual information in English into numeric data

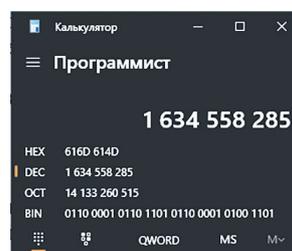


Рис. 6. Представление полученного числа из двоичного вида в десятичный

Fig. 6. Representing the resulting number from binary to decimal

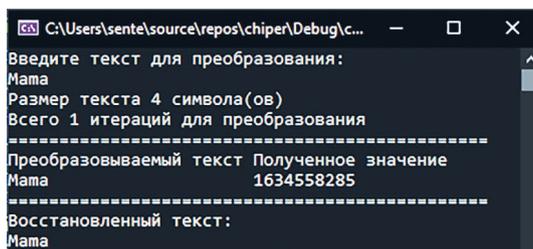
При обратном преобразовании используется тот же алгоритм, который применялся для преобразования текстовой информации в числовые данные, только в обратном порядке. Число 1 634 558 285 с помощью операции приведения типов (см. строку 4 фрагмента кода преобразования числовых данных в текстовую информацию с помощью указателей) приведем к двоичному виду. В результате получим 8 групп бит по 4 бита в каждой группе:

0110 0001 0110 1101 0110 0001 0100 1101

Преобразуем группы бит в байты, то есть 1 байт будет состоять из 2 групп по 4 символа, или из 8 символов. Переведем полученные байты данных из двоичной системы счисления в десятичную:

$$\begin{aligned} 0110\ 0001_2 &= 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^7 = 97_{10}; \\ 0110\ 1101_2 &= 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^7 = 109_{10}; \\ 0110\ 0001_2 &= 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^7 = 97_{10}; \\ 0100\ 1101_2 &= 1 \cdot 2^0 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^7 = 77_{10}. \end{aligned}$$

Порядок следования символов после преобразования изменился на противоположный. Это связано с тем же явлением, что наблюдалось при первичном преобразовании. При явном приведении типов происходит перевод десятичного значения в двоичное. Далее следует разделение двоичного значения на отдельные байты, перевод в десятичное представление и размещение байт по указателю в том порядке, который был до преобразования текстовой информации в числовые данные. Преобразование информации из примера представлено на рис. 7.



**Рис. 7.** Фрагмент окна программы с результатами преобразования информации в соответствии с примером  
**Fig. 7.** Fragment of the program window with the results of information conversion according to the example

Программное средство, разработанное в соответствии с предложенным алгоритмом, может быть использовано при проведении лабораторных или практических занятий со студентами 1–2 курсов учреждений высшего образования. В табл. 1 представлены сведения о путях использования этого программного средства по предложенному выше назначению.

**Таблица 1.** Сведения о путях использования проекта программного средства при проведении занятий по различным дисциплинам

**Table 1.** Information about the ways of using the software project in conducting classes in various disciplines

Наименование дисциплин (-ы) / Name of discipline (-s)	Наименование тем (-ы) / Topic name (-s)	Путь использования программного средства при проведении лабораторных или практических занятий / The way of using the software during laboratory or practical classes
«Информационные системы и технологии»	Информация и данные. Виды и свойства информации; цели и виды преобразования информации; кодирование информации; шифрование данных (при условии, если программное средство будет усовершенствовано путем реализации в нем криптографических алгоритмов)	Использовать как наглядный пример процесса преобразования информации из одного представления в другое в ходе чтения лекций по указанным темам

Окончание табл. 1  
Ending of Tab. 1

Наименование дисциплин (-ы) / Name of discipline (-s)	Наименование тем (-ы) / Topic name (-s)	Путь использования программного средства при проведении лабораторных или практических занятий / The way of using the software during laboratory or practical classes
«Основы алгоритмизации и программирования», «Конструирование программного обеспечения»	Операции отношения, логические операции; операции приведения типов; арифметические операции и их особенности по сравнению с другими языками программирования; неявное преобразование типов; операция преобразования типов; операторы цикла; указатели и операции над ними; связь между указателями и массивами. Организация работы с динамическими массивами; нуль-терминальные строки; функции для работы с нуль-терминальными строками. Алгоритмы работы с нуль-терминальными строками; текстовые файлы. Библиотечные функции для работы с файлами. Алгоритмы работы с файлами	1. Дать студентам задание по реализации фрагмента кода для восстановления текстовой информации из числовых данных, или наоборот, для более глубокого понимания процессов явного приведения типов, операций взятия адреса и разыменования. 2. Дать студентам задание по усовершенствованию программного средства путем реализации в нем криптографических алгоритмов
«Основы теории информации»	Понятие системы счисления. Позиционные и непозиционные системы счисления. Основание системы счисления; правила перевода из одной системы счисления в другую. Правила десятичной арифметики; способы кодирования и декодирования символьной информации. Представление символьной информации в ПК	Использовать как наглядный пример процесса преобразования информации из одного представления в другое в ходе чтения лекций по указанным темам

### Заключение

1. Программное средство, разработанное в соответствии с созданным алгоритмом преобразования текстовой информации в числовые данные с помощью указателей, может быть использовано при проведении лабораторных и практических работ не только аудиторно, но и дистанционно. Для этого потребуется разместить исполняемый файл, исходный код, а также материалы, которые требуются для демонстрации, в системе электронного обучения.

2. Дальнейшие исследования будут направлены на усовершенствование предложенного алгоритма. В частности, в программном средстве, разработанном в соответствии с созданным алгоритмом, могут быть реализованы следующие возможности:

- считывание текста из файла, подлежащего преобразованию;
- разработка графического интерфейса пользователя с использованием интерактивных элементов для возможности пошаговой демонстрации выполнения действий преобразования на настольных и мобильных операционных системах;
- вывод преобразовываемого текста в двоичной системе счисления;
- поддержка логической операции «исключающее или» в целях обеспечения возможности внесения информационной энтропии;
- указание в явном виде прямого или обратного порядка байтов в программе (Big-endian, Little-endian);
- поддержка простейших криптографических операций.

3. Благодаря реализации в программном средстве представленных возможностей можно будет увеличить количество учебных дисциплин, при преподавании которых целесообразно его применение.

### Список литературы

1. Носевич, В. Л. Плюсы и минусы электронного документооборота / В. Л. Носевич // Архівы і справаводства. 2013. Т. 3, № 87. С. 42–56.
2. Бебяцкая, Т. Н. Готовность населения к экономическому поведению в условиях электронной экономики: проблемы электронного здравоохранения / Т. Н. Бебяцкая, О. М. Маклакова // Цифровая трансформация. 2019. № 2. С. 13–28.
3. Головенчик, Г. Г. Современные тенденции цифрового реформирования образования / Г. Г. Головенчик // Цифровая трансформация. 2020. № 4. С. 5–20.
4. Лукьяненко, А. Ю. Оптимизация процесса выбора программного обеспечения в организации / А. Ю. Лукьяненко // Цифровая трансформация. 2019. № 4. С. 12–22.
5. Марков, А. Н. Готовность учреждений высшего образования к цифровой трансформации процессов / А. Н. Марков, С. А. Мигалевич // Цифровая трансформация. 2021. № 2. С. 64–68.
6. Седун, А. М. Опыт дистанционного обучения в Белорусском государственном экономическом университете / А. М. Седун, Е. А. Гриневич, А. И. Верещако // Цифровая трансформация. 2018. № 4. С. 56–60.
7. Старовойтова, Т. Ф. Цифровая трансформация системы сбора и обработки данных переписи населения Республики Беларусь / Т. Ф. Старовойтова, Т. И. Савченко // Цифровая трансформация. 2019. № 4. С. 39–49.

### References

1. Nosevich V. L. (2013) Pros and Cons of Electronic Document Management. *Arhivy i Spravavodstva*. 3 (87), 42–56 (in Russian).
2. Byalyatskaya T. N., Maklakova O. M. (2019) Readiness of the Population for Economic Behavior in the Conditions of Electronic Economy: Problems of Electronic Health Care. *Digital Transformation*. (2), 13–28 (in Russian).
3. Golovenchik G. G. (2020) Modern Trends in Digital Education Reform. *Digital Transformation*. (4), 5–20 (in Russian).
4. Lukyanenko A. Yu. (2019) Optimization of the Software Selection Process in the Organization. *Digital Transformation*. (4), 12–22 (in Russian).
5. Markov A. N., Migalevich S. A. (2021) Readiness of Higher Education Institutions for Digital Transformation of Processes. *Digital Transformation*. (2), 64–68 (in Russian).
6. Sedun A. M., Grinevich E. A., Vereshchako A. I. (2018) The Experience of Distance Learning at the Belarusian State University of Economics. *Digital Transformation*. (4), 56–60 (in Russian).
7. Starovoitova T. F., Savchenko T. I. (2019) Digital Transformation of the System of Collection and Processing of Population Census Data of the Republic of Belarus. *Digital Transformation*. (4), 39–49 (in Russian).

### Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

#### Сведения об авторах

**Герасимов В. А.**, сотрудник Научно-исследовательского института технической защиты информации, магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

**Бойправ О. В.**, к. т. н., доцент, доцент кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

#### Адрес для корреспонденции

220088, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Первомайская, 26, корп. 2  
Научно-исследовательский институт  
технической защиты информации  
Тел.: +375 17 294-01-71  
E-mail: v.gerasimov@bsuir.by  
Герасимов Вячеслав Александрович

#### Information about the authors

**Gerasimov V. A.**, Employee of the Scientific Research Institute of Technical Protection of Information, Master's Student at the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Boyprav O. V.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Information Security Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

#### Address for correspondence

220088, Republic of Belarus,  
Minsk, Pervomayskaya St., 26, build. 2  
Scientific Research Institute  
of Technical Protection of Information  
Tel.: +375 17 294-01-71  
E-mail: v.gerasimov@bsuir.by  
Gerasimov Vyacheslav Alexandrovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-50-57>

Оригинальная статья  
*Original paper*

УДК 004.056.55

## СЕРВИС ДЛЯ ПРОВЕРКИ СЕРТИФИКАТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ

И. О. ТОЛОХ, С. Ю. МИХНЕВИЧ, А. Ю. СЕНКЕВИЧ

*Белорусская государственная академия связи (г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 21.02.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** В законодательстве Республики Беларусь в настоящее время установлена одинаковая юридическая сила для идентичных документов на бумажном носителе и в электронном виде, имеющих обязательный реквизит – электронную цифровую подпись. В статье рассмотрена система управления открытыми ключами электронной цифровой подписи в Республике Беларусь, приведены понятия и определения, связанные с этой системой. Проанализированы технические нормативные правовые акты в области криптографической защиты электронных документов. Обоснована необходимость проверки сертификатов открытых ключей электронной цифровой подписи. Описаны возможные варианты процедуры проверки сертификатов открытых ключей, показаны их преимущества и недостатки. С использованием открытых криптографических библиотек и общедоступных инструментов разработан онлайн-сервис для проверки сертификатов открытых ключей.

**Ключевые слова:** электронная цифровая подпись, открытый ключ, сертификат, бот, личный ключ, криптографические стандарты, электронные услуги, отзыв сертификатов, удостоверяющий центр.

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

**Для цитирования.** Толох, И. О. Сервис для проверки сертификатов электронных документов / И. О. Толох, С. Ю. Михневич, А. Ю. Сенкевич // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 50–57. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-50-57>.

## SERVICE FOR VERIFICATION OF ELECTRONIC DOCUMENT'S CERTIFICATES

IGOR O. TOLOKH, SVETLANA YU. MIKHNEVICH, ALENA YU. SIANKEVICH

*Belarusian State Academy of Communications (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 21.02.2023*

**Abstract.** The legislation of the Republic of Belarus currently establishes the same legal force for identical documents on paper and in electronic form, which have a mandatory requisite - an electronic digital signature. The article considers the system for managing public keys of electronic digital signature in the Republic of Belarus, as well as the concepts and definitions associated with this system. The technical normative legal acts in the field of cryptographic protection of electronic documents are analyzed. The necessity of verification of certificates of public keys of electronic digital signature is substantiated. Possible variants of the procedure for verifying public key certificates are described, their advantages and disadvantages are shown. An online service for checking public key certificates has been developed using open cryptographic libraries and public tools.

**Keywords:** electronic digital signature, public key, certificate, bot, private key, cryptographic standards, electronic services, certificate revocation, certification authority.

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

**For citation.** Tolokh I. O., Mikhnevich S. Yu., Siankevich A. Yu. (2023) Service for Verification of Electronic Document's Certificates. *Digital Transformation*. 29 (4), 50–57. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-50-57> (in Russian).

## Введение

В современном мире в связи с быстрым развитием информационных технологий происходит их повсеместное внедрение во все сферы деятельности человека [1]. Вместе с их преимуществами, такими как удобство доступа к информации, ускорение обмена и распространения информации, появляются проблемы, связанные с подтверждением целостности и подлинности электронных документов. В настоящее время в сфере делопроизводства для решения этих вопросов широко используется электронная цифровая подпись (ЭЦП), которая обеспечивает контроль достоверности (целостности и подлинности) информации и подтверждение авторства. Применение ЭЦП возможно не только в электронном делопроизводстве. С 1991 г. идет обсуждение вопроса о защите авторских прав в киберпространстве [2]. Так, в Российской Федерации с 2012 г. действует сервис Itismine!, обеспечивающий постановку ЭЦП со штампом времени посредством веб-ресурса. Его оригинальность в том, что он направлен на защиту объектов авторского права. Созданная инфраструктура работы с ЭЦП создает предпосылки для использования ЭЦП в различных сферах деятельности [3, 4].

## Проверка сертификатов электронных документов

В соответствии с законодательством Республики Беларусь электронная цифровая подпись – последовательность символов, являющаяся реквизитом электронного документа и предназначенная для подтверждения его целостности и подлинности, а также для иных целей, предусмотренных Законом Республики Беларусь от 28 декабря 2009 г. № 113-З<sup>1</sup> и иными законодательными актами. Одинаковые по содержанию документы, созданные организацией или физическим лицом на бумажном носителе и в электронной форме, имеют одинаковую юридическую силу. С 15 сентября 2016 г. банки Республики Беларусь используют сертификаты открытых ключей проверки электронной цифровой подписи, изданные Республиканским удостоверяющим центром Государственной системы управления открытыми ключами (ГосСУОК) проверки электронной цифровой подписи Республики Беларусь, для идентификации и аутентификации юридических и физических лиц, в том числе индивидуальных предпринимателей, адвокатов, нотариусов и их представителей.

Для проверки электронной цифровой подписи используется открытый ключ – последовательность символов, соответствующая определенному личному (закрытому) ключу, доступная для всех заинтересованных организаций или физических лиц. Открытый ключ распространяется в виде атрибутивных сертификатов (или сертификатов). Сертификат открытого ключа (СОК) – электронный документ, изданный удостоверяющим центром (УЦ), содержащий сведения, подтверждающие принадлежность указанного в нем открытого ключа определенной организации или физическому лицу. Помимо этой информации, сертификат содержит информацию о его владельце, эмитенте, сроке действия и включает также другие атрибуты.

Инфраструктура открытого ключа (ИОК) – инфраструктура, позволяющая управлять открытыми ключами для поддержания услуг аутентификации, контроля целостности, обеспечения конфиденциальности и (или) невозможности отказа от авторства. ИОК включает:

- регистрационный центр (РЦ) – объект системы, предназначенный для регистрации пользователей;
- корневой удостоверяющий центр (КУЦ) – УЦ в верхней позиции иерархической структуры ИОК;
- конечных пользователей – это пользователи, приложения или системы, являющиеся владельцами СОК и использующие ИОК.

<sup>1</sup> Об электронном документе и электронной цифровой подписи: Закон Респ. Беларусь от 28 декабря 2009 г. № 113-З: в ред. от 8 ноября 2018 г. № 143-З // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2021.

В Республике Беларусь структурой управления открытыми ключами является ГосСУОК, положение о которой разработано Оперативно-аналитическим центром при Президенте Республики Беларусь. ГосСУОК работает с 2014 г., и на сегодняшний день выдано почти 1,5 млн ЭЦП, а в системе ведомственного документооборота работает более 15 000 организаций.

В соответствии с Регламентом деятельности Республиканского удостоверяющего центра ГосСУОК проверки ЭЦП Республики Беларусь юридическое или физическое лицо, полагающееся на достоверность сведений, содержащихся в сертификате открытого ключа, и (или) электронную цифровую подпись (далее – доверяющая сторона), могут запрашивать сертификаты любого пользователя ГосСУОК и использовать их для проверки электронной цифровой подписи электронного документа. Прежде чем установить доверие к электронному документу, доверяющие стороны обязаны:

– удостовериться в действительности сертификата. Списки отозванных сертификатов (СОС) регулярно публикуются и обновляются. Обновление может происходить при истечении срока действия (например, в связи с изменением имени, названия организации и т. д.). Периодичность обновления устанавливается организацией, проводящей эту работу;

– убедиться, что в атрибутном сертификате содержатся сведения о полномочиях физического лица на подписание электронного документа определенного типа.

Форматы сертификата и электронного документа определены в документах СТБ 34.101.19 и СТБ 34.101.23, входящих в систему криптографических стандартов Республики Беларусь, схема которых представлена на рис. 1.

<p>профиль ИОК (ГосСУОК)</p> <p>топология, форматы, процессы, транспорт, ключевой контейнер, программный интерфейс</p> <p><b>СТБ 34.101.78</b></p>	<p>криптографические токены (id-карты)</p> <p>объекты, id-данные, протоколы, командный интерфейс, прикладные программы eld / eSign</p> <p><b>СТБ 34.101.79</b></p>	<p>массовая идентификация/аутентификация</p> <p>топология, процессы, токены аутентификации, протоколы, OAuth / OIDC</p> <p><b>СТБ 34.101.bias</b></p>									
<p>форматы криптографических данных</p> <p>сертификаты открытых ключей, CMS, OCSP, идентификаторы, XML DSig/Enc, атрибутные сертификаты, расширенные ЭЦП</p> <p><b>СТБ 34.101.17,19,23,26,50,67,80</b></p>	<p>службы</p> <p>заверения данных, штампов времени</p> <p><b>СТБ 34.101.81</b> <b>СТБ 34.101.82</b></p>	<p>общие требования</p> <p>СКЗИ (в т.ч. аппаратные)</p> <p><b>СТБ 34.101.27</b></p>	<p>прикладные протоколы</p> <p>протокол TLS 1.2 с дополнительными крипто наборами</p> <p><b>СТБ 34.101.65</b></p>								
<p>криптографические алгоритмы и протоколы</p>											
<p>шифрование (формат, дисковое)</p>	<p>имитозащита</p>	<p>хэширование</p>	<p>ЭЦП (с доп. св-вами)</p>	<p>транспорт</p>	<p>hMAC</p>	<p>PRNG</p>	<p>OTP</p>	<p>разделение секрета (в т.ч. детерминированное)</p>	<p>формирование общего ключа, аутентификация</p>	<p>хэширование</p>	<p>древовидное хэширование</p> <p>шифрование имитозащита</p> <p>защита сеансов</p>
<b>СТБ 34.101.31</b>			<b>СТБ 34.101.45</b>	<b>СТБ 34.101.47</b>	<b>СТБ 34.101.60</b>	<b>СТБ 34.101.66</b>	<b>СТБ 34.101.77</b>				

Рис. 1. Криптографические стандарты Республики Беларусь

Fig. 1. Cryptographic standards of the Republic of Belarus

Стандарт СТБ 34.101.19 определяет форматы сертификатов и списков отозванных сертификатов инфраструктуры открытых ключей, а также процедуры проверки их подлинности. Связь открытого ключа с его владельцем обеспечивает УЦ посредством сертификата (рис. 2). Проверка УЦ того, что пользователь владеет личным ключом, соответствующим открытому ключу, может основываться на применении протоколов (также известных как алгоритмы доказательства владения), на предъявлении личного ключа или на утверждении владельца открытого и личного ключа. Сертификат имеет ограниченный срок действия, указанный в атрибутах. Пользователи должны иметь возможность самостоятельно проверять СОК. Например, если по какой-либо причине УЦ отзывает ранее выданный СОК, пользователи должны иметь возможность узнать о том, что был отзыв, чтобы не использовать сертификат, к которому отсутствует доверие. Поэтому сертификаты могут передаваться по небезопасным каналам передачи данных и храниться в незащищенных хранилищах. СОС являются одним из способов, которые могут быть использованы для уведомления пользователей об отзыве СОК.

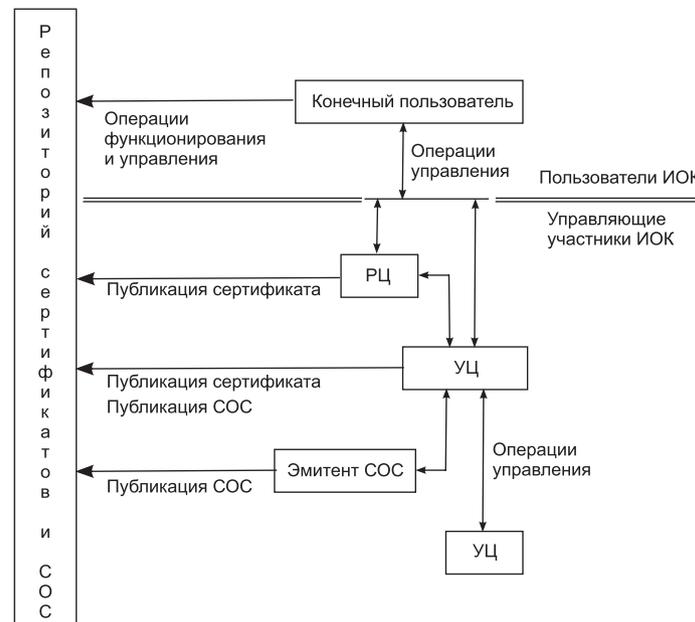


Рис. 2. Связь открытого ключа с его владельцем

Fig. 2. Linking a public key to its owner

В СТБ 34.101.19 определяется формат СОС, включая способ его расширения и совокупность расширений СОС. Как для СОК, так и для СОС могут определяться дополнительные расширения, которые окажутся полезными в конкретных приложениях.

Пользователь, для которого требуется информация об открытом ключе, должен проверить подлинность сертификата, содержащего требуемый открытый ключ. Если у пользователя подписавшего сертификат, нет доверенного значения открытого ключа УЦ, названия УЦ и связанной с ним информации (например, такой как срок действия или ограничения, накладываемые на имена), то для проверки СОК может потребоваться дополнительный сертификат. Как правило, необходимы цепочка сертификатов, содержащая проверяемый сертификат, подписанный одним из УЦ, и, возможно, дополнительные сертификаты УЦ, подписанные другими УЦ. Такие цепочки, называемые маршрутами сертификации, требуются потому, что пользователь открытого ключа изначально имеет только ограниченное число доверенных значений открытых ключей, принадлежащих УЦ.

Также в СТБ 34.101.19 определены два класса сертификатов: УЦ и конечных пользователей. Сертификаты УЦ, в свою очередь, можно разделить на три класса: кросс-сертификаты, самоизданные и самоподписанные сертификаты. Кросс-сертификаты – это сертификаты УЦ, в которых эмитент и субъект СОК являются двумя разными сторонами. Кросс-сертификаты указывают на доверенные отношения между двумя УЦ. Самоизданные – это сертификаты УЦ, в которых эмитент и субъект являются одной и той же стороной. Такие сертификаты выдаются для внесения изменений в политику или деятельность УЦ. Самоподписанные – это самоизданные сертификаты, ЭЦП которых можно проверить с помощью открытого ключа из данного сертификата. Самоподписанные сертификаты предназначены для использования открытого ключа в качестве начала маршрута сертификации, т. е. точки доверия.

При выдаче сертификата предполагается, что он может быть использован на протяжении всего срока действия. Однако вследствие различных обстоятельств сертификат может стать недействительным до истечения срока действия. Такими обстоятельствами могут быть смена имени, изменение характера связи субъекта с УЦ (например, сотрудник разрывает договор с организацией), а также компрометация или подозрение на компрометацию соответствующего личного ключа. При этих обстоятельствах УЦ должен отозвать сертификат.

В СТБ 34.101.19 предусмотрен один способ отзыва сертификатов – каждый УЦ периодически выдает подписанную структуру данных, которая называется списком отозванных сертификатов. СОС – это общедоступный список с отметкой времени, подписанный УЦ или эмитентом СОС, в котором указаны отозванные сертификаты. Каждый отозванный сертификат можно найти в СОС

по серийному номеру. Каждая информационная система, использующая сертификат, не только проверяет его целостность и срок действия, но и обращается к допустимому по сроку действия СОС для подтверждения того, что серийный номер сертификата отсутствует в этом списке. Значение «допустимый по сроку действия» может различаться в разных системах, но обычно оно означает самый последний выпущенный СОС. Новый СОС выпускается периодически (например, ежечасно, ежедневно, еженедельно). Запись добавляется в СОС при следующем обновлении списка после уведомления о необходимости отзыва СОК. Запись об отзыве не должна удаляться из СОС до того, пока она не появится в одном СОС, выпущенном после окончания срока действия отозванного сертификата. Достоинство такого способа отзыва – то, что СОС могут распространяться таким же образом, что и сертификаты: через небезопасные каналы передачи данных и незащищенные хранилища.

Ограничение для способа отзыва с использованием СОС заключается в том, что периодичность процесса отзыва ограничена периодичностью выпуска СОС. Например, если в настоящее время зарегистрировали отзыв, то системы, использующие сертификаты, не будут уведомлены об этом, пока все выпущенные списки СОС не обновятся. В зависимости от частоты выпуска СОС это может занять час, день, неделю. Стандартные наборы атрибутов сертификатов были определены в серии X.500 спецификаций. Программные реализации проверки СОК, соответствующие настоящему стандарту, должны иметь возможность обработки следующих стандартных типов атрибутов в именах эмитента и субъекта:

- страна, организация, организационная единица, определитель уникального имени, название государства или области, обычное имя, серийный номер;
- местоположение, должность, фамилия, имя, отчество, инициалы, псевдоним.

Обработка СОС начинается с предположения, что сертификат не отозван. Алгоритм проверяет СОС один или более раз до тех пор, пока статус сертификата не будет определен как отозванный или пока не будет проверено достаточное количество СОС для проверки всех кодов причин. Процедуры проверки маршрута сертификации основаны на алгоритме, который проверяет связь между уникальным именем субъекта (альтернативным именем субъекта) и открытым ключом субъекта. Проверка маршрута сертификата ограничивается условиями, указанными в сертификатах в маршруте, и входными данными, представленными проверяющим участником.

Входными данными алгоритма является точка доверия. Точка доверия представляет собой совокупность следующей информации: доверенное значение открытого ключа, уникальное имя владельца соответствующего личного ключа (например, субъект удостоверяющего центра), идентификатор алгоритма электронной цифровой подписи, параметры открытого ключа (если они имеются) и период действия ключа (если он установлен). Выбор точки доверия зависит от политики: в качестве точки доверия могут выступать: корневой УЦ в иерархической ИОК; УЦ, выдавший сертификат (или несколько сертификатов) проверяющей стороне; любой иной УЦ в сети ИОК.

Процедура верификации маршрута остается неизменной и не зависит от выбора точки доверия. Кроме того, разные приложения могут использовать различные точки доверия или доверять маршрутам, начинающимся с любой точки доверия из заданного набора. В большинстве случаев сертификат является сертификатом конечного пользователя, но может быть и сертификатом УЦ, так как открытый ключ может использоваться для целей, отличных от проверки подписи сертификата. Для проверки связи между именем и открытым ключом субъекта необходимо иметь цепочку сертификатов, которые поддерживают такую связь.

Стандарт СТБ 34.101.23 определяет синтаксис криптографических сообщений, которые используются для обеспечения конфиденциальности, контроля целостности и подлинности данных при их передаче и хранении. Документ устанавливает форматы криптографических сообщений, правила создания и обработки сообщений. Синтаксис базируется на инкапсуляции – вложении одной структуры данных в другую. Система управления содержимым (CMS) допускает многократную вложенность: один контейнер, содержащий вложенные данные, может быть частью другого контейнера. Например, стороны могут подписывать ранее инкапсулированные данные, которые уже содержат ЭЦП. CMS позволяет подписывать произвольные атрибуты, например текущее время, вместе с обрабатываемым сообщением и добавлять другие атрибуты к выработанной ЭЦП. CMS поддерживает различные инфраструктуры открытых ключей, в том числе инфраструктуру, заданную в СТБ 34.101.19 и основанную на сертификатах открытых ключей.

Значения типов CMS определяются с помощью базовых правил кодирования ASN.1. Результатом кодирования является строка октетов. Большинство коммуникационных систем имеют средства надежной передачи строк октетов. Тем не менее известны системы, в которых такие средства отсутствуют. CMS позволяет описывать данные многих типов. Тип данных задается специальным идентификатором. CMS связывает идентификатор с самими данными. Для этого должен использоваться криптографический контейнер, формат которого определяется типом ContentInfo ASN.1.

СТБ 34.101.23 определяет семь типов данных: неструктурированные, подписанные, конвертованные, хэшированные, шифрованные, аутентифицируемые и аутентифицируемые конвертованные. Дополнительные типы данных могут быть определены в других ТНПА, основанных на СТБ 34.101.23. При этом дополнительные типы должны быть отличны от CHOICE. Программы реализации, которые претендуют на соответствие настоящему стандарту, должны поддерживать контейнер Contentinfo и неструктурированные, подписанные и конвертованные данные, также могут поддерживаться и остальные типы.

Неструктурированные данные – это произвольные строки октетов, например текстовые сообщения, интерпретация которых зависит от конкретного применения. Такие строки не обязательно имеют внутреннюю структуру, хотя структура может быть, и она может описываться, например, с помощью ASN.1.

Подписанные данные – это произвольные данные, дополненные несколькими ЭЦП, выработанными одной или несколькими сторонами. Отсутствие ЭЦП не считается ошибкой.

Конвертованные данные – зашифрованные данные вместе с зашифрованными для одного или нескольких получателей ключами шифрования данных. Комбинация зашифрованных данных и одного из зашифрованных ключей является цифровым конвертом для соответствующего получателя. В цифровой конверт могут быть помещены данные любого типа, данные могут адресоваться любому числу получателей, для шифрования ключей могут применяться любые поддерживаемые получателем методы. При шифровании данных ключ выбранного алгоритма шифрования вырабатывается случайным образом. Данные (строка октетов) дополняются до определенной длины, а затем зашифровываются с помощью выработанного ключа.

Хэшированные данные – это данные вместе с вычисленным для них хэш-значением. Обычно такой тип применяется для контроля целостности данных и используется в качестве вложенного контейнера при формировании конвертованных данных.

Шифрованные данные – данные любого типа, зашифрованные на некотором ключе. В отличие от конвертованных, в шифрованных не содержится информация ни о получателях, ни о ключах шифрования. Управление ключами шифрования должно осуществляться другими, отличными от использованных в конвертованных данных, способами. Типичное применение – защита данных при хранении на локальных устройствах с помощью шифрования на ключе, построенном по паролю.

Аутентифицируемые данные – это данные любого типа вместе с имитовставкой и зашифрованными для одного или нескольких получателей ключами имитозащиты. Имитовставка и зашифрованный ключ имитозащиты получателя используются им для проверки целостности данных. Контроль целостности может обеспечиваться для любого числа получателей.

### **Электронный сервис проверки сертификатов электронных документов**

На едином портале электронных услуг реализована функция проверки сертификатов ЭЦП при вводе необходимой информации. Однако с увеличением потока электронных документов появляется необходимость автоматической проверки сертификатов подлинности ЭЦП. Сервис онлайн-проверки должен быть максимально доступен (например, реализован на открытом веб-сервере, в виде Telegram-бота и т. д.). Для реализации онлайн-сервиса проверки электронных документов целесообразно использовать открытые криптографические библиотеки и общедоступные инструменты. В данной статье выбраны следующие:

- OpenSSL (протоколы SSL/TLS, криптографические форматы, унификация работы с криптографическими алгоритмами);
- Bee2 (криптографические алгоритмы РБ);
- Bee2evr (встраивание Bee2 в OpenSSL);
- Python (интеграция, Telegram-бот).

OpenSSL – это криптографический пакет с открытым исходным кодом, который предназначен для работы с протоколами SSL/TLS, сертификатами открытых ключей, списками отозванных сер-

тификатов, электронными документами и другими криптографическими форматами. OpenSSL поддерживает разнородную зарубежную криптографию, но, к сожалению, не отечественную. Криптографические алгоритмы Республики Беларусь встраиваются в OpenSSL с помощью программной библиотеки Bee2 и плагина Bee2evp. Алгоритмы реализованы в Bee2, а в Bee2evp эти реализации «обернуты» интерфейсами схемы EVP, которая поддерживается в OpenSSL. Библиотека Bee2 и плагин Bee2evp разработаны в НИИ прикладных проблем математики и информатики Белорусского государственного университета. Они распространяются на условиях GNU GeneralPublicLicense версии 3. Трехуровневая конструкция OpenSSL[Bee2evp[Bee2]] использована в серверной части разработанного авторами статьи онлайн-сервиса проверки достоверности электронных документов. Клиентская часть представлена Telegram-ботом. Бот обрабатывает следующие команды: /cert – проверить сертификат; /doc – проверить электронный документ.

В Telegram-боте, приведенном на рис. 3, реализованы две основные функции: проверить документ и проверить сертификат. Работают они по схожему принципу – на вход подается электронный документ, который проверяется на валидность, и на выходе мы получаем ответ в виде статуса ответа.

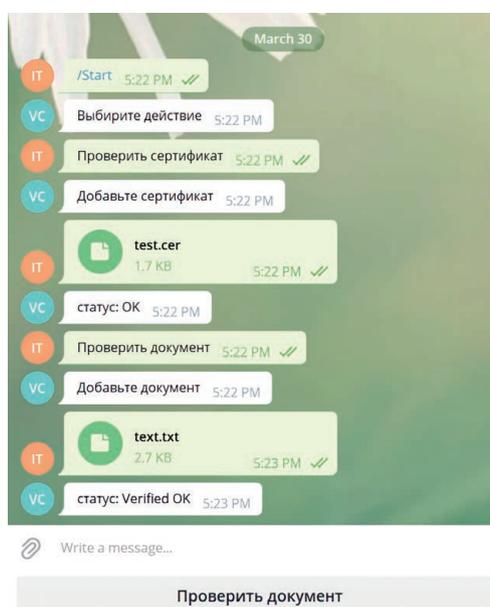


Рис. 3. Telegram-бот проверки сертификата открытого ключа  
Fig. 3. Telegram bot to check public key certificate

Проверка сертификатов происходит следующим образом. При использовании кнопки «Проверить сертификат» появляется предложение отправить его. После отправки выполняется проверка сертификата – проверяется его штамп времени, кто его подписал и не находится ли сертификат в списке отозванных. Если все в порядке, получаем ответ ОК, если нет – в статусе ответа будет выведена определенная ошибка в зависимости от того, что именно произошло. Проверка документа реализуется схожим образом: на вход подается документ, который должен содержать сертификат с подписью. Сначала проверяется подпись на документе: если она подлинная, то переходим к проверке подлинности сертификата. Если с ним тоже все в порядке, то ответ будет ОК, а если произошла ошибка, то она будет выдана в статусе (рис. 3) [5].

Результатом работы бота является статус корректности сертификата или документа. Бот использует предустановленные сертификаты корневого и Республиканского удостоверяющих центров ГосСУОК, загружает отозванные этими центрами списки сертификатов. Также бот проверяет, что сертификат лица, подписавшего документ, действительно выдан Республиканским удостоверяющим центром, что срок действия сертификата включает момент проверки и что сертификат не включен в список отозванных.

### Заключение

Обоснована необходимость создания сервиса по проверке сертификатов открытых ключей электронной цифровой подписи. Описаны общедоступные инструменты и криптографические

библиотеки для их создания. Разработан Telegram-бот для проверки сертификата открытого ключа электронной цифровой подписи и представлен его интерфейс.

### Список литературы

1. Курочкина, Е. А. Возможности использования электронно-цифровой подписи в современных условиях / Е. А. Курочкина, Т. М. Тарасова // Наука и образование транспорту. 2020. № 1. С. 253–256.
2. Niva Elkin-Koren. Copyrights in Cyberspace – Rights without Laws // *Chicago-Kent Law Review*. 1998. Vol. 73, Iss. 4. P. 1156–1199.
3. Злотникова, Г. К. Влияние инфраструктуры открытых ключей на экономическую и информационную безопасность предприятия / Г. К. Злотникова, И. С. Денисов // Книга «Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития». Петрозаводск, 2022. С. 263–276.
4. Акушуев, Р. Т. Инфраструктура открытых ключей / Р. Т. Акушуев // *Modern Science*. 2020. № 1–2. С. 213–215.
5. Михневич, С. Ю. Онлайн-проверка достоверности электронных документов / С. Ю. Михневич, И. О. Толох // *International Journal of Information and Communication Technologies*. 2021.

### References

1. Kurochkina E. A., Tarasova T. M. (2020) Possibilities of Using Electronic Digital Subscription in Modern Conditions. *Science and Education Transport*. (1), 253–256 (in Russian).
2. Niva Elkin-Koren (1998) Copyrights in Cyberspace – Rights without Laws. *Chicago-Kent Law Review*. 73 (4), 1156–1199.
3. Zlotnikova G. K., Denisov I. S. (2022) Influence of Public Key Infrastructure on the Economic and Information Security of an Enterprise. *Book “Fundamental and Applied Science: State and Development Trends”*. Petrozavodsk. 263–276 (in Russian).
4. Akushuev R. T. (2020) Public Key Infrastructure. *Modern Science*. (1–2), 213–215 (in Russian).
5. Mikhnevich S. Yu., Tolokh I. O. (2021) Online Check for Availability of Electronic Documents. *International Journal of Information and Communication Technology* (in Russian).

### Вклад авторов

Толох И. О. осуществил реализацию сервиса.

Михневич С. Ю. и Сенкевич А. Ю. обосновали и выполнили постановку задачи.

### Authors' contribution

Tolokh I. O. implemented the service.

Mikhnevich S. Yu. and Siankevich A. Yu. substantiated completed the statement of the problem.

### Сведения об авторах

**Толох И. О.**, лаборант кафедры инфокоммуникационных технологий Белорусской государственной академии связи

**Михневич С. Ю.**, к.ф.-м.н., доцент, заведующий кафедрой инфокоммуникационных технологий Белорусской государственной академии связи

**Сенкевич А. Ю.**, лаборант кафедры инфокоммуникационных технологий Белорусской государственной академии связи

### Адрес для корреспонденции

220076, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Ф. Скорины, 8/2  
Белорусская государственная академия связи  
Тел.: +375 17 356-96-06  
E-mail: s.mikhnevich@bsac.by  
Михневич Светлана Юрьевна

### Information about the authors

**Tolokh I. O.**, Laboratory Assistant at the Department of Infocommunication Technologies of the Belarusian State Academy of Communications

**Mikhnevich S. Yu.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Head at the Department of Infocommunication Technologies of the Belarusian State Academy of Communications

**Siankevich A. Yu.**, Laboratory Assistant at the Department of Infocommunication Technologies of the Belarusian State Academy of Communications

### Address for correspondence

220076, Republic of Belarus,  
Minsk, F. Skoriny St., 8/2  
Belarusian State Academy of Communications  
Tel.: +375 17 356-96-06  
E-mail: s.mikhnevich@bsac.by  
Mikhnevich Svetlana Yurievna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-58-65>

Оригинальная статья  
*Original paper*

УДК 004.4

## МЕТОД И АЛГОРИТМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОМ

О. Н. АНДРЕЙЧУК, Н. И. ЛИСТОПАД

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

*Поступила в редакцию 17.09.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Предложены метод и алгоритм на его основе для обработки изображений больших объемов. Новизна в данном случае – это метод реализации программного кода с использованием объекта App, а также алгоритм специфической реализации фильтров для обработки графических элементов. В ходе разработки были учтены различные проблемные ситуации, такие как использование современного синтаксиса объявления переменных, применение стрелочных функций, разделение кода на более мелкие функции или методы класса, добавление комментариев к сложным участкам кода, проверка наличия ошибок и исключений. Кроме того, были соблюдены стандарты и рекомендации по стилю кодирования. Реализованный алгоритм на языке программирования JavaScript представляет собой эффективное веб-приложение, использующее библиотеку EaselJS для работы с графикой и отличающееся специфической логикой работы с графическими слоями, инструментами рисования и взаимодействия с пользователем. Это, в конечном счете, позволило, по сравнению с известными решениями, улучшить производительность кода.

**Ключевые слова:** веб-приложение, алгоритм обработки изображений, эффективность и оптимизация кода.

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

**Для цитирования.** Андрейчук, О. Н. Метод и алгоритм для обработки изображений больших объемов / О. Н. Андрейчук, Н. И. Листопад // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 58–65. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-58-65>.

## METHOD AND ALGORITHM FOR PROCESSING LARGE VOLUME IMAGES

OLGA N. ANDREICHUK, NIKOLAI I. LISTOPAD

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

*Submitted 17.09.2023*

**Abstract.** The article proposes a new method and an algorithm based on it for processing large-volume images. What is new in the implementation of image processing is the method of implementing program code using the App object. The novelty of the proposed method also lies in the algorithm for the specific implementation of filters for processing graphic elements. During development, various problematic situations were taken into account, such as using modern variable declaration syntax, using arrow functions, dividing code into smaller functions or class methods, adding comments to complex sections of code, checking for errors and exceptions, and following standards and guidelines by coding style. The implemented algorithm in the JavaScript programming language is an effective web application that uses the EaselJS library to work with graphics and has specific logic for working with graphic layers, drawing tools and user interaction, which ultimately made it possible to improve code performance compared to known solutions.

**Keywords:** web application, image processing algorithm, code efficiency and optimization.

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

**For citation.** Andreichuk O. N., Listopad N. I. (2023) Method and Algorithm for Processing Large Volume Images. *Digital Transformation*. 29 (4), 58–65. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-58-65> (in Russian).

## Введение

Специфика обработки изображений больших объемов является важным аспектом, который необходимо учитывать для повышения эффективности и оптимизации функционирования соответствующих веб-приложений, базирующихся на новых алгоритмах, позволяющих произвести оптимизацию кода и сократить время выполнения, затрачиваемое на саму обработку. Оптимальное решение – реализация алгоритма обработки изображений с помощью языка программирования JavaScript, поскольку он является клиентским и не требует установки дополнительного программного средства на персональный компьютер для запуска и работы [1].

Веб-приложение имеет хорошую, рациональную конечную структуру файлов, что позволяет системе функционировать достаточно быстро и стабильно. Имена файлов и папок приведены к нижнему регистру и не имеют пробелов в имени, что обеспечивает гарантию работоспособности веб-приложения на любых веб-сервисах.

JavaScript как один из наиболее популярных языков программирования для веб-разработки предоставляет множество возможностей для создания функциональных и интерактивных приложений. Однако, чтобы обеспечить оптимальные пользовательские запросы и повысить производительность, необходимо применять новые методы, алгоритмы и современные стили написания кода, учитывать различные проблемные ситуации.

## Методы проведения исследований и их результаты

Обработка изображений, как известно [2], представлена набором функций, методов, объектов на языке программирования JavaScript. Все файлы js имеют корректное синтаксическое оформление кода. Каждое действие, которое реализовано в веб-приложении, представлено в отдельных функциях, что ускоряет выполнение необходимых действий. Например, посредством функций можно вызывать определенные действия несколько раз по ходу выполнения веб-приложения.

Предлагается следующий подход при разработке веб-приложения. Прежде всего, необходимо применять исключительно современные стили написания кода с целью его оптимизации, при этом нужно учитывать следующие проблемные ситуации:

- использовать современный синтаксис объявления переменных с помощью `let` или `const` вместо `var`. Например: `for (let i = 0; let layer = this.layers[i]; i++)`;
- использовать стрелочные функции вместо функций обратного вызова. Например: `this.layers.forEach((v) => { if (v.active) ret = v; });`;
- код должен быть разделен на более мелкие функции или методы класса для повышения читаемости и поддерживаемости;
- в коде должны присутствовать комментарии к сложным участкам кода, чтобы облегчить его понимание;
- код должен быть проверен на наличие потенциальных ошибок и исключений, должны быть добавлены обработка ошибок и проверка входных данных, где это необходимо;
- необходимо применить современный стандарт и рекомендации по стилю кодирования, такие как использование отступов, правильное именование переменных и функций, использование одинарных или двойных кавычек для строковых литералов.

Разработанный код на языке программирования JavaScript представляет собой реализацию веб-приложения с использованием библиотеки EaselJS для работы с графикой. Новизна разработки заключается в применении оригинального подхода, заключающегося в специфической логике работы с графическими слоями, инструментами рисования и взаимодействия с пользователем. Специфика логики работы – в функциональном подходе, что значительно сокращает количество строк кода, делает его более читабельным, повышает производительность.

Файловая структура приложения, реализующего новый подход, представлена на рис. 1. Веб-приложение имеет рациональную конечную структуру файлов, что позволяет ему работать достаточно стабильно с хорошим быстродействием. Имена файлов и папок приведены к соответствующему регистру, согласно спецификации CamelCase, и не имеют пробелов в имени, что обеспечивает гарантию работоспособности веб-приложения на любых веб-сервисах.

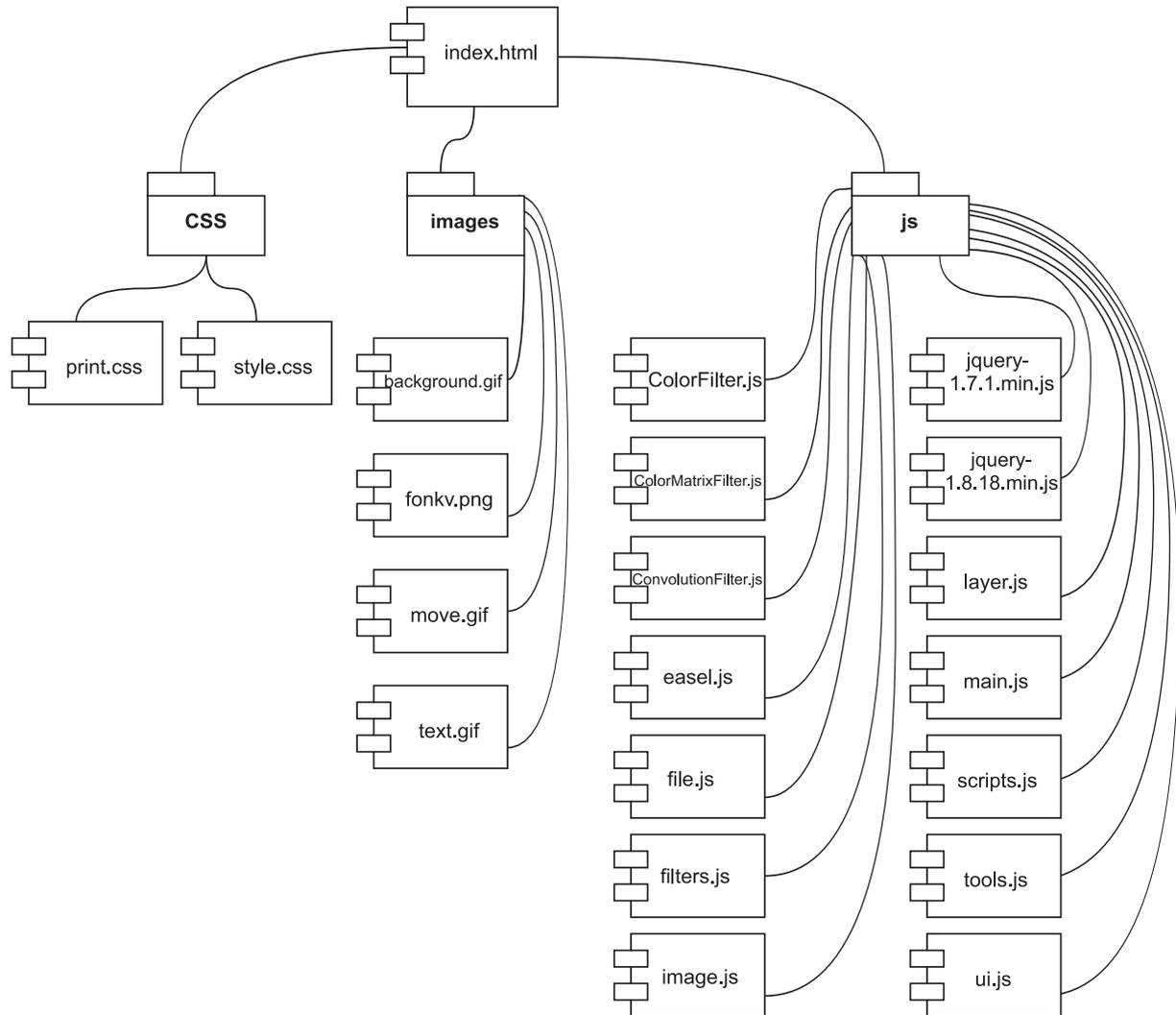
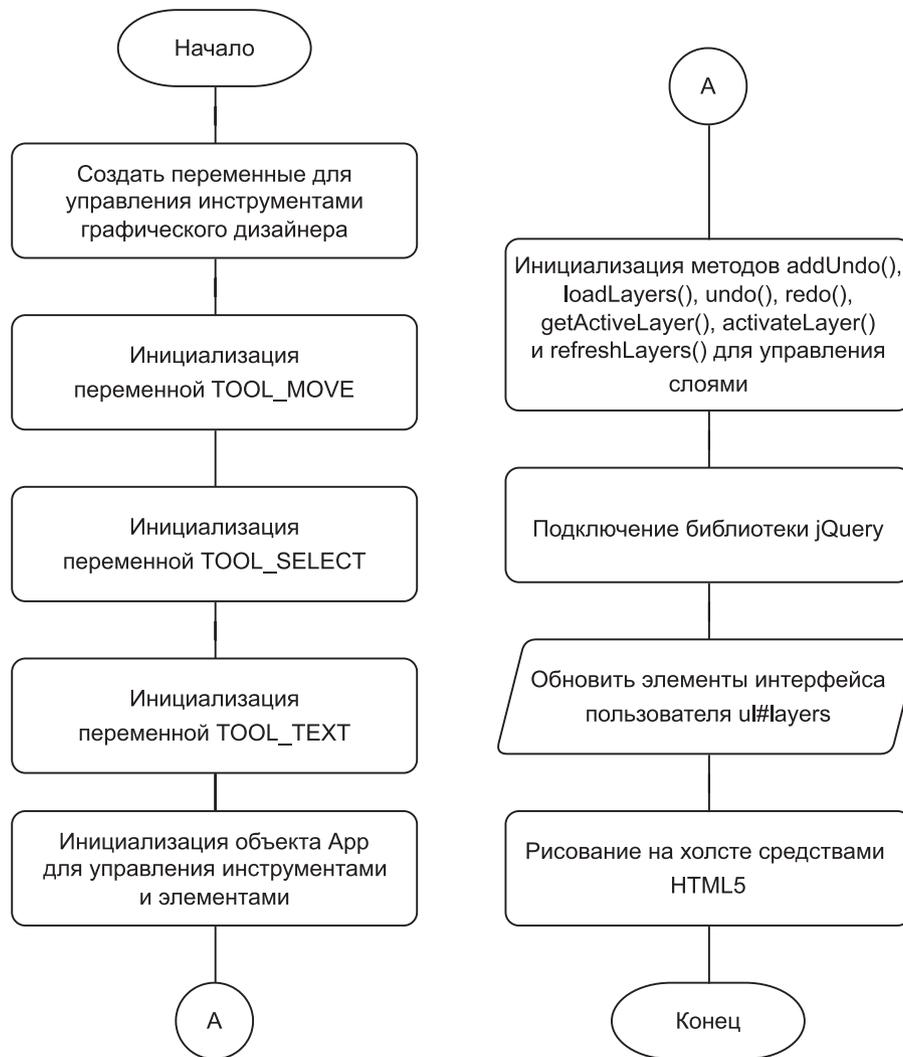


Рис. 1. Файловая структура приложения  
Fig. 1. Application file structure

Основная структура приложения построена в виде объекта App, что позволяет оперировать данными как единым целым. Новым в реализации обработки изображений большого объема как раз и является метод реализации программного кода с использованием объекта App. Вся файловая структура js-файлов имеет доступ к данному объекту и его свойствам. Такой способ позволяет ускорить работу веб-приложения и как следствие – повысить эффективность обработки изображения за счет уменьшения временных затрат.

Представление объекта App в каком-то смысле уникально, поскольку эта структура содержит в себе функции для работы со слоями при обработке изображений. Данные функции наследуются во всей структуре веб-приложения. Блок-схема работы объекта App представлена на рис. 2.

Рассмотрим код на примере метода загрузки слоев loadLayers объекта App, который хранится в файле main.js. Код выполняет функцию загрузки слоев из JSON-объекта в веб-приложение. Метод loadLayers принимает два параметра – from и to, являющиеся массивами слоев. Вначале извлекается последний элемент из массива from, который сохраняется в переменной jsonString. Затем проверяется, является ли jsonString неопределенным. Если переменная jsonString – неопределенная, то функция возвращает false, и вся процедура завершается.



**Рис. 2.** Блок-схема работы объекта App  
**Fig. 2.** Block diagram of the operation of the App object

После этого текущие слои (`this.layers`) преобразуются в строку и добавляются в массив посредством оператора `to`. Далее происходит парсинг JSON-строки `jsonString` в объект `json`. Затем выполняется цикл по индексам слоев (`i`). Для каждого слоя происходит цикл по значениям объекта `jsonLayer`, который представляет собой слой из объекта `json`. Если значение не является фильтром (`value != 'filters'`), оно присваивается соответствующему свойству слоя, а если является фильтром, то создается новый массив `layer.filters`. Далее происходит цикл по фильтрам слоя из объекта `jsonLayer`. Для каждого фильтра создается новый экземпляр класса, имя которого берется из массива `jsonLayer.filters.names`. Потом значения фильтра присваиваются соответствующим свойствам этого экземпляра.

После применения всех фильтров проверяется, были ли у слоя предыдущие фильтры (`hadFilters`). Если это так, то обновляется кэш слоя. Наконец, вызывается функция `refreshLayers()`, которая обновляет отображение слоев в графическом приложении. Описанный выше алгоритм можно представить в виде блок-схемы, приведенной на рис. 3.

Новым в предлагаемом методе является алгоритм специфической реализации фильтров для обработки графических элементов. В коде представлены различные функции фильтрации, такие как `filterBrightness`, `filterColorify`, `filterDesaturation`, `filterBlur`, `filterGaussianBlur`, `filterEdgeDetection`, `filterEdgeEnhance`, `filterEmboss` и `filterSharpen`. Каждая функция фильтрации принимает определенные параметры (например, яркость, цветовую коррекцию, радиус размытия и т. д.) и применяет соответствующие им значения.

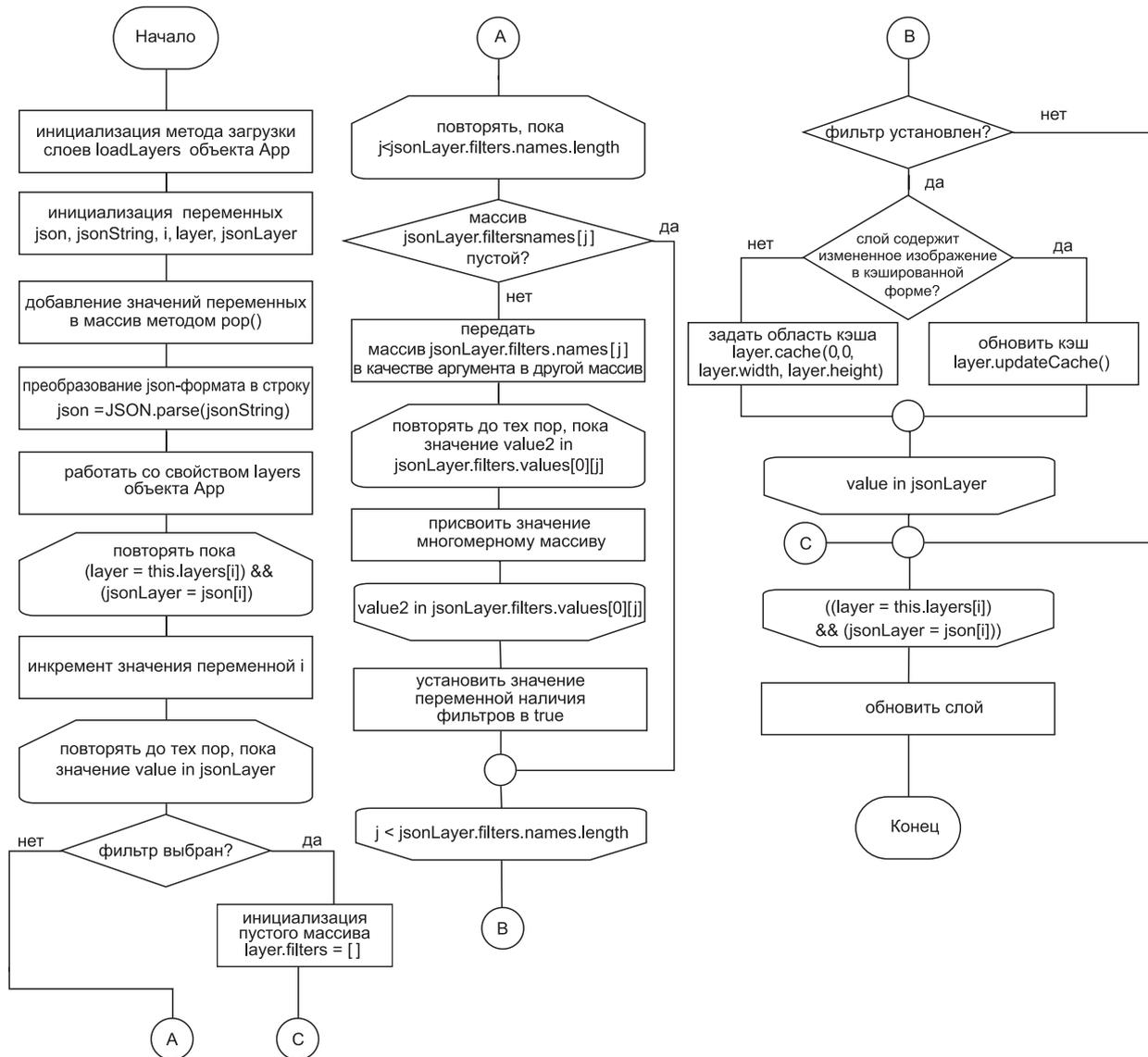
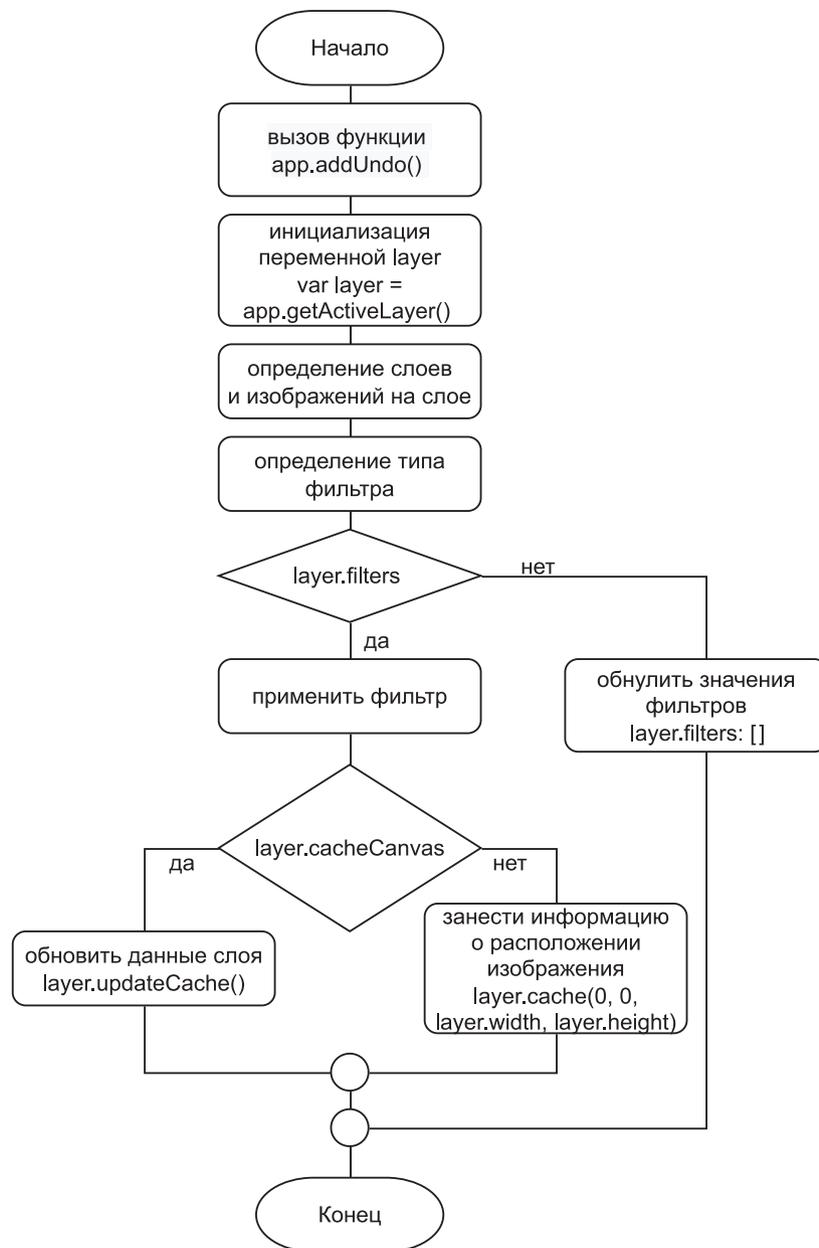


Рис. 3. Алгоритм работы метода loadLayers  
Fig. 3. Algorithm for the loadLayers method

Рассмотрим работу кода на примере функции applyFilter, которая является универсальной для всех фильтров в веб-приложении. Данный способ реализации функции позволяет сократить количество строк кода и увеличить скорость работы веб-приложения. Первоначально функция applyFilter вызывает метод addUndo() объекта App, который добавляет текущее состояние слоев в историю изменений для возможности отмены операций.

Затем функция получает активный слой с помощью метода getActiveLayer() объекта App и сохраняет его в переменную layer. Далее проверяется, существует ли у слоя массив фильтров (layer.filters). Если массив не существует, то создается пустой массив. Затем фильтр добавляется в массив фильтров слоя с помощью метода push(). После добавления фильтра происходит проверка, есть ли у слоя кэш (layer.cacheCanvas). Если кэш существует, вызывается метод updateCache(), который обновляет кэшированное изображение слоя с учетом примененного фильтра. Если кэш не существует, вызывается метод cache() для создания нового кэша слоя, охватывающего всю его ширину и высоту. Таким образом, функция applyFilter добавляет фильтр в массив фильтров активного слоя и обновляет его кэш для отображения изменений. Алгоритм работы функции applyFilter представлен на рис. 4.

В отличие от существующих решений [3] в приложении улучшена производительность кода примерно в 9,8 раза (рис. 5) за счет:



**Рис. 4.** Алгоритм работы функции applyFilter  
**Fig. 4.** Algorithm for the applyFilter function

1) использования констант: в коде присутствуют три константы TOOL\_MOVE, TOOL\_SELECT и TOOL\_TEXT, что позволяет избежать их повторного определения и помогает ускорить выполнение кода;

2) использования цикла for вместо метода forEach: цикл for работает быстрее, чем метод forEach, особенно при обработке большого количества данных;

3) уменьшения обращений к DOM: создана временная строка HTML вместо обновления списка слоев каждый раз при вызове метода refreshLayers;

4) использования локальных переменных;

5) использования более эффективных алгоритмов: в коде применены более эффективные алгоритмы, чтобы ускорить выполнение кода, например, алгоритм сортировки вместо простого перебора при сортировке списка слоев;

6) оптимизации циклов: циклы оптимизированы, чтобы ускорить выполнение кода, например, в цикле for использован префиксный оператор ++ вместо постфиксного, чтобы избежать лишнего присваивания значения переменной [4].

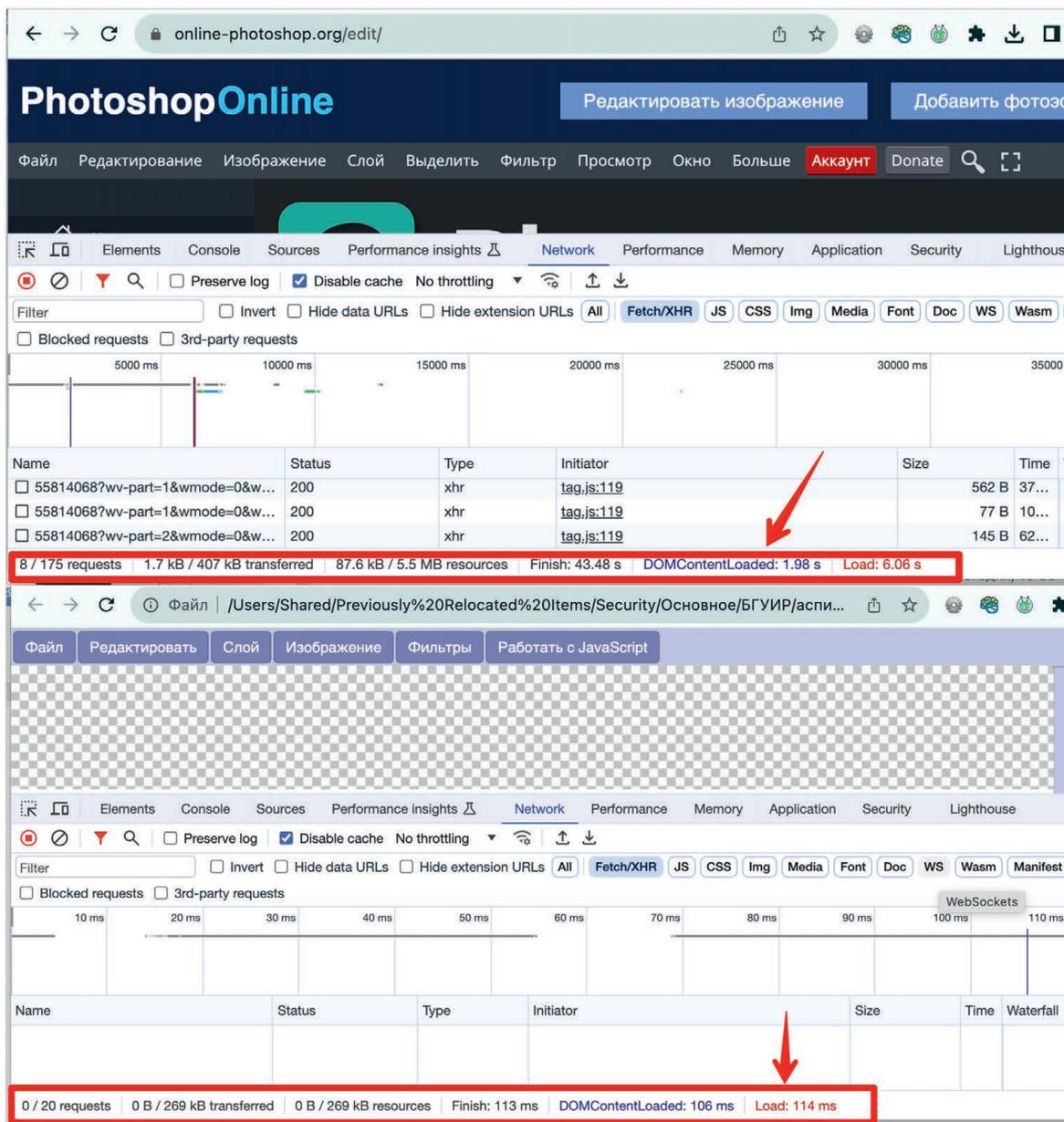


Рис. 5. Загрузка веб-сайта PhotoshopOnline и разработанного веб-приложения  
Fig. 5. Uploading the PhotoshopOnline website and the developed web application

### Заключение

1. Предложены инновационный метод и соответствующий алгоритм для обработки больших объемов изображений. Уникальность этой методики заключается в разработке программного кода с применением объекта App и в особом алгоритме для фильтрации графических элементов.

2. Разработанный алгоритм на языке программирования JavaScript представляет собой эффективное веб-приложение, использующее библиотеку EaselJS для работы с графикой и отличающееся специфичной логикой взаимодействия с графическими слоями, инструментами рисования и взаимодействия с пользователями. Это позволило значительно повысить производительность кода по сравнению с существующими решениями.

### Список литературы

1. Цифровая обработка изображений в информационных системах / И. С. Грузман [и др.]. Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2000. 168 с.

2. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. 3-е изд. испр. и доп. / Р. Гонсалес, Р. Вудс. М.: Техносфера, 2012. 1104 с.
3. Кузница IT-решений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://shiftoffproblem.com/what-is-spa-and-mpa/>.
4. Флэнаган, Д. JavaScript. Подробное руководство / Д. Флэнаган; пер. с англ. СПб.: Символ-Плюс, 2017. 992 с.

### References

1. Gruzman I. S., Kirichuk V. S., Kosykh V. P., Peretyagin G. I., Spector A. A. (2000) *Digital Image Processing in Information Systems*. Novosibirsk: Publishing House of Novosibirsk State Technical University. 168.
2. Gonzalez R., Woods R. (2012) *Digital Image Processing, 3<sup>rd</sup> ed.* Moscow, Tekhnosphere Publ. 1104.
3. *Forge of IT Solutions*. Available: <http://shiftoffproblem.com/what-is-spa-and-mpa/>.
4. Flanagan D. (2017) *JavaScript. Detailed Guide, per. from English*. St. Petersburg, Symbol-Plus. 992.

### Вклад авторов

Авторы внесли равный вклад в написание статьи.

### Authors' contribution

The authors contributed equally to the writing of the article.

### Сведения об авторах

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

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

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, просп. Независимости, 62  
Филиал «Минский радиотехнический колледж»  
Белорусского государственного университета  
информатики и радиоэлектроники  
Тел.: +375 29 341-04-17  
E-mail: [memory1703@gmail.com](mailto:memory1703@gmail.com)  
Андрейчук Ольга Николаевна

### Information about the authors

**Andreichuk O. N.**, Lecturer at the Branch of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics “Minsk Radiotechnical College”

**Listopad N. I.**, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Head at the Department of Information Radio Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, Nezavisimosty Ave., 62  
Branch of the Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
“Minsk Radiotechnical College”  
Tel.: +375 29 341-04-17  
E-mail: [memory1703@gmail.com](mailto:memory1703@gmail.com)  
Andreichuk Olga Nikolaevna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-66-72>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 004.021, 53.087.44, 612.172.4

## АЛГОРИТМ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

А. Н. ОСИПОВ, О. Ч. РОЛИЧ, А. П. КЛЮЕВ, В. Д. ВЛАДЫМЦЕВ,  
С. А. МИГАЛЕВИЧ, И. О. ХАЗАНОВСКИЙ

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

*Поступила в редакцию 23.06.2023*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы измерения частоты сердечных сокращений в системах мониторинга функционального состояния человека, работающих в реальном масштабе времени. Регистраторы систем данного класса чувствительны к помехам и шумам, вызванным двигательными артефактами, электромагнитными наводками от внешних источников, временной деградацией сенсоров и др. Приведено соотношение для расчета частоты сердечных сокращений и описан алгоритм вычисления, заключающийся в регистрации электрокардиограммы, вычислении спектрограммы электрокардиограммы и формировании из нее первого числового массива, вычислении второго преобразования Фурье числовых значений строк первого массива и пикового анализа вновь полученных амплитудных спектров. Реализация алгоритма позволяет получить более точную количественную оценку частоты сердечных сокращений в реальном масштабе времени в условиях наличия помех и шумов.

**Ключевые слова:** частота сердечных сокращений, спектрограмма, электрокардиограмма, реальный масштаб времени.

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

**Благодарность.** Статья подготовлена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках договора от 15.11.2021 № Ф21УЗБГ-001.

**Для цитирования.** Алгоритм измерения частоты сердечных сокращений в системах мониторинга функционального состояния человека / А. Н. Осипов [и др.] // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 4. С. 66–72. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-66-72>.

## HEART RATE MEASUREMENT ALGORITHM IN THE MONITORING SYSTEM OF HUMAN BODY CONDITION

ANATOLY N. OSIPOV, OLEG CH. ROLICH, ANDREY P. KLUEV,  
VADIM D. VLADYMTSEV, SERGEY A. MIGALEVICH, IGOR O. KHAZANOVSKY

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

*Submitted 23.06.2023*

**Abstract.** The questions of measuring heart rate in systems for monitoring the functional state of a person operating in real time are considered. Recorders of systems of this class are sensitive to interference and noise caused by motor artifacts, electromagnetic interference from external sources, temporary degradation of sensors, etc. The ratio for the calculation of the heart rate is given and the calculation algorithm is described, which consists

in registering an electrocardiogram, calculating the electrocardiogram spectrogram and forming the first numerical array from it, calculating the second Fourier transform of the numerical values of the rows of the first array and peak analysis of the newly obtained amplitude spectra. The implementation of the algorithm makes it possible to obtain a more accurate quantitative assessment of the heart rate in real time in the presence of interference and noise.

**Keywords:** heart rate, spectrogram, electrocardiogram, real time scale.

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

**Gratitude.** The article was prepared with the support of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research within the framework of agreement dated November 15, 2021 No F21UZBG-001.

**For citation.** Osipov A. N., Rolich O. Ch., Kluev A. P., Vladymtsev V. D., Migalevich S. A., Khazanovsky I. O. (2023) Heart Rate Measurement Algorithm in the Monitoring System of Human Body Condition. *Digital Transformation*. 29 (4), 66–72. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-4-66-72> (in Russian).

## Введение

Взрывному росту цифровой медицины способствуют новые решения в области искусственного интеллекта, сенсорики, робототехники, беспроводной связи, обработки и анализа информации, дополненной и виртуальной реальности. Повышенный спрос отрасли на IT-решения также связан с увеличением доли больных с хроническими заболеваниями, потребностью обеспечить им постоянный мониторинг и длительный уход. Мощным драйвером развития цифровой медицины стала пандемия коронавируса.

Технологии искусственного интеллекта применяются во всех структурных элементах цифровой медицины: для повышения точности диагностирования и персонализации лечения на основе больших медицинских данных, накопленных в рамках электронного медицинского документооборота; для анализа медицинских изображений, полученных по телемедицинской системе, с помощью алгоритмов компьютерного зрения и т. д. Одними из перспективных приложений искусственного интеллекта являются определение функционального состояния человека, выявление предкризовых и кризисных состояний посредством систем носимой медицинской электроники, включающей системы непрерывного мониторинга состояния пациентов.

Разрабатываемые в настоящее время базовые (прототипы) системы дистанционного мониторинга ориентированы на контроль в режиме реального времени следующих основных физиологических показателей: сердцебиения, температуры тела и окружающей среды, насыщения тканей кислородом, положения тела [1–3]. Измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС) по электрокардиограммам (ЭКГ) в масштабе реального времени на фоне умеренных синфазных помех, в основном наводимых в цепях питания, – задача сложная и актуальная. Для ее решения особый интерес представляют приборы оперативного мониторинга сердечного ритма на базе недорогих и широкодоступных портативных электрокардиографов и микроконтроллеров, исходно не предназначенных для высокоскоростной цифровой обработки сигналов [4, 5]. В портативных приборах реального времени при измерении ЧСС и иных показателей жизнедеятельности человека к помехам в цепях питания накладывается также динамика человека и его внутренних органов.

## Алгоритм обработки электрокардиограммы

В статье решение задачи измерения ЧСС в масштабе реального времени на базе портативного электрокардиографа в составе прибора оперативного мониторинга сердечного ритма осуществлено посредством анализа спектрограммы электрокардиосигнала [6–8]. Данное решение обусловлено квазипериодичностью процесса сердцебиения и возможностью контроля поведения сигнала в отдельных частотных диапазонах, в особенности в диапазонах, наименее подверженных влиянию помех в цепях питания, а также выраженному характеру QRS-комплекса электрокардиограммы, который, как правило, явно выделяется на фоне шумов [9, 10].

Исследования показали, что в сердечном ритме электрокардиограммы наименее подвержен помехам спектральный участок примерно от  $f_1 = 12$  Гц до  $f_k = 45$  Гц. Соответственно, измерение ЧСС в предлагаемом алгоритме основывается на пиковом анализе амплитудных спектров числовых массивов, построенных на основе данных частотных срезов спектрограммы с номерами столбцов

(или строк – в зависимости от способа представления спектрограммы), соответствующих частотам из диапазона  $[f_1, f_k]$ . Предлагаемый алгоритм измерения ЧСС состоит из шести этапов.

1. Регистрация ЭКГ и вычисление скользящего оконного быстрого преобразования Фурье (БПФ) с использованием весовой функции Хэмминга и вычислением спектрограммы электрокардиограммы.

2. Формирование первого числового массива, столбцами которого являются вычисленные амплитудные спектры оконного преобразования Фурье, а строки – это частотные срезы спектрограммы на участке  $[f_1, f_k]$ .

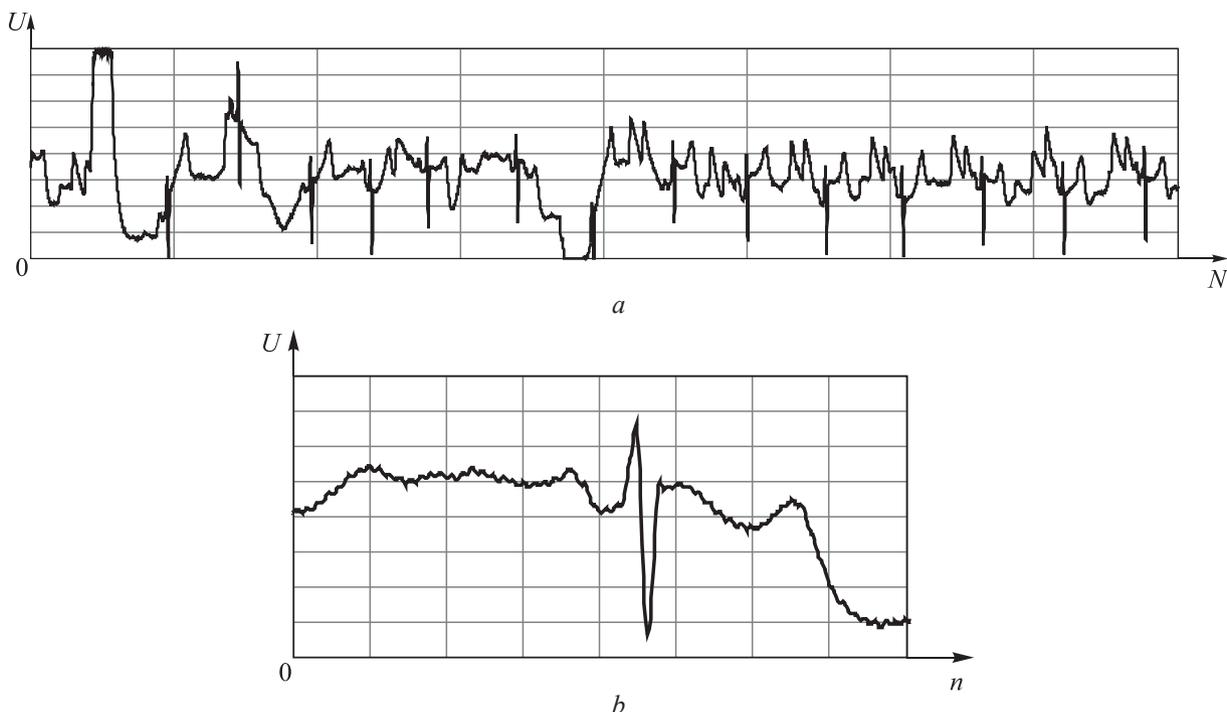
3. Вычисление второго преобразования Фурье числовых значений строк первого числового массива и формирование второго числового массива.

4. Поиск координат глобальных максимумов в вычисленных амплитудных спектрах второго массива.

5. Расчет оценок ЧСС для каждого амплитудного спектра второго массива с учетом весов соседних глобальных максимумов гармоник и убывающего характера фрагмента амплитудного спектра.

6. Усреднение множества оценок ЧСС, вычисленных на предыдущем этапе.

Исходя из перечисленных этапов, алгоритм измерения ЧСС основывается на двукратном БПФ исходного электрокардиосигнала. Убывающий характер фрагмента амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) означает движение от ее максимума в обе стороны до первых подъемов. Для пояснения алгоритмических этапов на рис. 1, *a* ( $U$  – амплитуда кардиограммы;  $n$  – номера отсчетов, пропорциональные текущему времени электрокардиографического сигнала) представлен исходный электрокардиосигнал, регистрируемый портативным электрокардиографом с человека в естественных условиях, на рис. 1, *b* – его фрагмент с QRS-комплексом. При этом изоэлектрическая линия ЭКГ колеблется вместе с ее элементами. Это усложняет процесс детектирования и распознавания QRS-комплекса. Движения человека дополнительно заметно искажают сигнал, в некоторых местах практически полностью подавляя QRS-фрагмент. Период дискретизации сигнальных отсчетов  $t_d = 2$  мс.



**Рис. 1.** Исходный кардиосигнал портативного электрокардиографа (*a*) и его фрагмент с QRS-комплексом (*b*)  
**Fig. 1.** Initial cardiac signal from a portable electrocardiograph (*a*) and its fragment with the QRS complex (*b*)

Исследуемую последовательность кардиосигнала разбивали на  $m$  сигналов длиной  $n$  отсчетов. Количество отсчетов определяли исходя из условия, что их длительность не может быть меньше минимальной длительности QRS-комплекса и больше одного максимального периода между QRS-комплексами.

Скользящее оконное БПФ было выполнено с использованием весовой функции и вычислением спектрограммы (рис. 2). Благодаря квазипериодичности процессов жизнедеятельности и свойству периодичности Фурье-преобразования даже при сильном искажении QRS-комплекса его образ можно выделить в спектрограмме. Установлено, что наилучшее выделение QRS-образов обеспечивается в частотном диапазоне от  $f_1 = 12$  Гц до  $f_k = 45$  Гц.

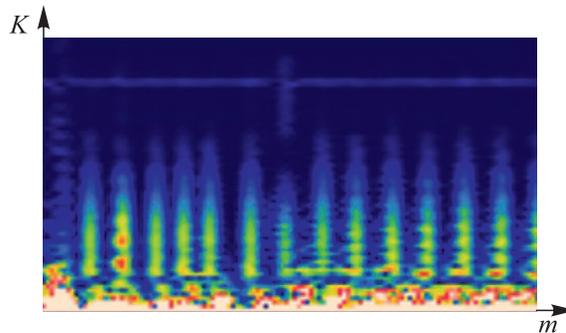


Рис. 2. Спектрограмма кардиограммы  
Fig. 2. Spectrogram of cardiogram

На рис. 3 изображено изменение амплитуды 12-герцовой гармонической составляющей от времени (частотного среза) на исследуемом участке  $[f_1, f_k]$ , записанной в соответствующей  $j$ -й строке спектрограммы ( $A^*$  – амплитуда частотного среза).

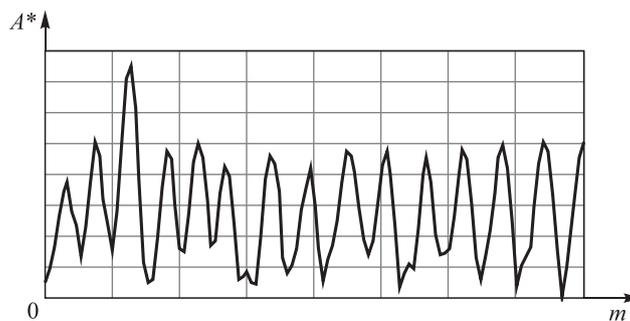


Рис. 3. Изменение амплитуды одной из гармонических составляющих  
в диапазоне  $[f_1, f_k]$  исходного кардиосигнала

Fig. 3. Changing the amplitude of one of the harmonic components in the range  $[f_1, f_k]$  of the original cardiac signal

ЧСС оценивали путем повторного БПФ частотных срезов спектрограммы в диапазоне  $[f_1, f_k]$ . Формировали второй числовой массив, строками которого являлись амплитудные спектры, полученные в результате вычисления второго преобразования Фурье. На рис. 4 приведен один из амплитудных спектров (последовательность значений строк второго числового массива) ( $L$  – номер гармоники спектра, пропорциональный частоте).

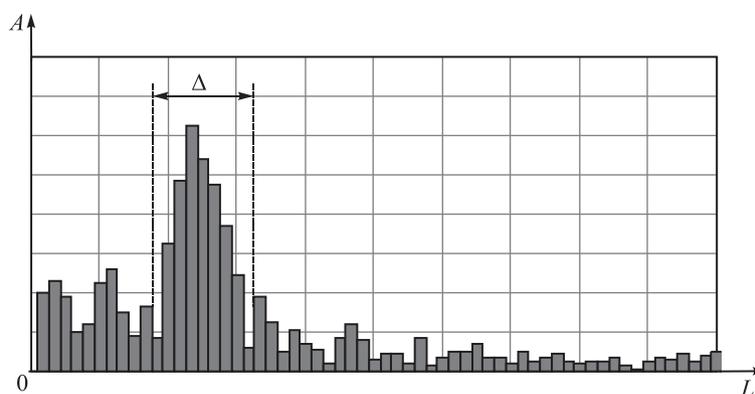


Рис. 4. Амплитудный спектр частотного среза  
Fig. 4. Amplitude spectrum of the frequency section

В графике изменения амплитуды определенной гармонической составляющей исходного сигнала на рис. 3 очевиден квазипериодический, связанный с сердцебиением, процесс. Этот же процесс проявляется и в спектрограмме на рис. 2, его частота соответствует околориковой области АЧХ на рис. 4.

Для получения более точной оценки ЧСС в вычислениях учитывались гармоники, соседние к максимальной  $A_{j\max}$ , с учетом убывающего характера околорикового фрагмента амплитудного спектра до первых подъемов. Данный интервал обозначен шириной  $\Delta$  на рис. 4. Вклад этих гармоник в ЧСС на  $\Delta$ -интервале учитывался посредством весовых коэффициентов  $w_\delta$ , пропорциональных амплитудам  $A_\delta$  гармоник с номерами  $\delta$ , входящих в  $\Delta$ -интервал амплитудного спектра сигнала частотного среза спектрограммы, причем

$$\text{ЧСС}_f = \frac{60}{t_d n} \sum_{\delta \in \Delta} (w_\delta \delta),$$

где  $f \in [f_1, f_k]$  – индекс частотного среза спектрограммы исходной ЭКГ;  $t_d$  – период дискретизации отсчетов ЭКГ;  $n$  – длина скользящего окна.

Формула (1) рассчитана на измерение ЧСС в ударах в минуту. С учетом весового вклада  $\text{ЧСС}_f$  окончательное значение ЧСС вычисляли путем усреднения  $\text{ЧСС}_f$  по всем частотным индексам  $f$ , входящим в диапазон  $[f_1, f_k]$ .

### Заключение

1. Описан алгоритм вычисления частоты сердечных сокращений, заключающийся в регистрации электрокардиограммы, вычислении скользящего оконного быстрого преобразования Фурье с использованием весовой функции Хэмминга, в получении спектрограммы электрокардиограммы и формировании из нее первого числового массива.

2. Выполнено вычисление второго преобразования Фурье числовых значений строк первого массива. Осуществлен пиковый анализ вновь полученных амплитудных спектров, определены частоты, соответствующие максимальной амплитуде спектров частотных срезов.

3. Значение частоты сердечных сокращений вычисляли путем усреднения значений частот, полученных на этапе пикового анализа. Приведено соотношение для расчета частоты сердечных сокращений.

4. Предложенный алгоритм измерения частоты сердечных сокращений реализован в портативном электрокардиографе на базе микроконтроллера ESP32 с архитектурой Tensilica Xtensa LX6 и кардиомодуля RC039 на основе усилителя AD8232. Среднее время вычисления частоты сердечных сокращений составляет не более 5 мс для длины скользящего окна  $n = 128$  при шаге его перемещения, равном длине окна, и размере матрицы спектрограммы  $n/2 \times n/8$ . Применение частотно-временного преобразования на основе оконного преобразования Фурье для обработки данного класса сигналов позволяет повысить точность измерения частоты сердечных сокращений при движении человека.

### Список литературы

1. Islam, Md. M. Development of Smart Healthcare Monitoring System in IoT Environment / Md. M. Islam, A. Rahaman, Md. R. Islam // SN Computer Science. 2020. Vol. 185, No 1. P. 1–11. Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00195-y>.
2. Pradhan, B. IoT-Based Applications in Healthcare Devices / B. Pradhan, S. Bhattacharyya, K. Pal // Journal of Healthcare Engineering. 2021. Vol. 2021. P. 1–18. Mode of access: <https://downloads.hindawi.com/journals/jhe/2021/6632599.pdf>.
3. Real-Time Framework for Patient Monitoring Systems Based on a Wireless Body Area Network / N. Mahmoud [et al.] // International Journal of Computer Applications. 2020. Vol. 176, No 27. P. 12–21. Mode of access: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume176/number27/mahmoud-2020-ijca-920274.pdf>.
4. Sowmya, K. V. An Efficient Health Monitoring System with Temperature and Heart Rate Sensors Using IoT / K. V. Sowmya, V. Teju // European Journal of Molecular & Clinical Medicine. 2021. Vol. 8, No 2. P. 793–802. Mode of access: [https://ejmcm.com/article\\_7497\\_1eb61761da420cc16e28825b0ea9f268.pdf](https://ejmcm.com/article_7497_1eb61761da420cc16e28825b0ea9f268.pdf).

5. Ghosh, A. Energy-Efficient IoT-Health Monitoring System Using Approximate Computing / A. Ghosh, A. Raha, A. Mukherjee // *Internet of Things*. 2020. No 9. P. 1–16. Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100166>.
6. Архитектура системы дистанционного мониторинга состояния человека на основе технологии интернета вещей / А. Н. Осипов [и др.] // *Медэлектроника–2022. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии: сб. науч. ст. XIII Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 8–9 декабря 2022 г. Минск: Белор. госуд. ун-т информ. и электр., 2022. С. 40–42. Режим доступа: [https://www.bsuir.by/m/12\\_100229\\_1\\_168906.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_168906.pdf).*
7. Ролич, О. Ч. Алгоритмы обработки сигналов в интегрированной системе виброакустической и тепловой диагностики дизельной аппаратуры / О. Ч. Ролич, В. Е. Тарасенко, Д. А. Михаевич // *Агропанорама*. 2020. № 6. С. 38–41. Режим доступа: [https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/12920/1/2020\\_6.9.algoritmi.pdf](https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/12920/1/2020_6.9.algoritmi.pdf).
8. Спектрально-статистический анализ виброакустических сигналов элементов дизеля / О. Ч. Ролич [и др.] // *Агропанорама*. 2022. № 4. С. 24–28. Режим доступа: [https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/16854/1/2022\\_4.5.spektralno-statisticheskij.pdf](https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/16854/1/2022_4.5.spektralno-statisticheskij.pdf).
9. Федотов, А. А. Математическое моделирование и анализ погрешностей измерительных преобразователей биомедицинских сигналов / А. А. Федотов, С. А. Акулов. М.: Физматлит, 2013. 282 с. Режим доступа: <https://ssau.ru/files/resources/sotrudniki/fizmatlit.pdf>.
10. Кузнецов, А. А. Биофизика сердца. Электрокардиографическое холтеровское мониторирование для исследования variability сердечного ритма условно здоровых людей / А. А. Кузнецов. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2013. 84 с. Режим доступа: [http://op.vlsu.ru/fileadmin/Programmy/Magistratura/12.04.04/Metod\\_doc/UP\\_BFSk2\\_BTS.pdf](http://op.vlsu.ru/fileadmin/Programmy/Magistratura/12.04.04/Metod_doc/UP_BFSk2_BTS.pdf).

## References

1. Islam Md. M., Rahaman A., Islam Md. R. (2020) Development of Smart Healthcare Monitoring System in IoT Environment. *SN Computer Science*. 185 (1), 1–11. Available: <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00195-y>.
2. Pradhan B., Bhattacharyya S., Pal K. (2021) IoT-Based Applications in Healthcare Devices. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021, 1–18. Available: <https://downloads.hindawi.com/journals/jhe/2021/6632599.pdf>.
3. Mahmoud N., El-Sappagh S., Abdelrazek S. M., El-Bakry H. M. (2020) A Real-Time Framework for Patient Monitoring Systems Based on a Wireless Body Area Network. *International Journal of Computer Applications*. 176 (27), 12–21. Available: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume176/number27/mahmoud-2020-ijca-920274.pdf>.
4. Sowmya K. V., Teju V. (2021) An Efficient Health Monitoring System with Temperature and Heart Rate Sensors Using IoT. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*. 8 (2), 793–802. Available: [https://ejmcm.com/article\\_7497\\_1eb61761da420cc16e28825b0ea9f268.pdf](https://ejmcm.com/article_7497_1eb61761da420cc16e28825b0ea9f268.pdf).
5. Ghosh A., Raha A., Mukherjee A. (2020) Energy-Efficient IoT-Health Monitoring System using Approximate Computing. *Internet of Things*. (9), 1–16. Available: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100166>.
6. Osipov A. N., Kluev A. P., Rolich O. Ch., Migalevich S. A., Vladymtsev V. D., Hazanov I. O., Patseev A. V., Patseev S. V. (2022) Architecture of Human Body Condition Remote Monitoring System Based on IoT. *Medelelectronics–2022. Medical Electronic Devices and New Medical Technologies: Scientific Articles Book XIII International Sci.-Tech. Conference, Minsk, 8–9 Dec. 2022*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 40–42. Available: [https://www.bsuir.by/m/12\\_100229\\_1\\_168906.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_168906.pdf) (in Russian).
7. Rolich O. Ch., Tarasenko V. E., Mihaevich D. A. (2020) Algorithm of Signals Processing in Integrated Systems of Vibroacoustic and Thermal Diesel Engine Diagnostics. *Agropanoram*. (6), 38–41. Available: [https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/12920/1/2020\\_6.9.algoritmi.pdf](https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/12920/1/2020_6.9.algoritmi.pdf) (in Russian).
8. Rolich O. Ch., Tarasenko V. E., Mihaevich D. A., Zheshko A. A. (2022) Spectral-Statistical Analysis of Diesel Elements Vibroacoustic Signals. *Agropanoram*. (4), 24–28. Available: [https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/16854/1/2022\\_4.5.spektralno-statisticheskij.pdf](https://rep.bsatu.by/bitstream/doc/16854/1/2022_4.5.spektralno-statisticheskij.pdf) (in Russian).
9. Fedotov A. A., Akulov S. A. (2013) *Mathematical Modeling and Analysis of Biomedical Signal Converters Measuring Errors*. Moscow, Physmatlit Publ. 282. Available: <https://ssau.ru/files/resources/sotrudniki/fizmatlit.pdf> (in Russian).
10. Kyznetsov A. A. (2013) *Biophysics of Heart. Electrocardiographic Holter Monitoring for Research of Heart Rate Variability of Conditionally Healthy People*. Vladimir, Vladimir State University Publ. 84. Available: [http://op.vlsu.ru/fileadmin/Programmy/Magistratura/12.04.04/Metod\\_doc/UP\\_BFSk2\\_BTS.pdf](http://op.vlsu.ru/fileadmin/Programmy/Magistratura/12.04.04/Metod_doc/UP_BFSk2_BTS.pdf) (in Russian).

## Вклад авторов

Авторы внесли равный вклад в написание статьи.

### Authors' contribution

The authors contributed equally to the writing of the article.

#### Сведения об авторах

**Осипов А. Н.**, к. т. н., доцент, начальник Центра междисциплинарных исследований Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

**Ролич О. Ч.**, к. т. н., доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

**Клюев А. П.**, ст. преподаватель кафедры инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

**Владымцев В. Д.**, ассистент кафедры информатики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

**Мигалевич С. А.**, магистр т. н., начальник Центра информатизации и инновационных разработок Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

**Хазановский И. О.**, заместитель начальника научно-производственно-образовательного инновационного центра СВЧ технологий и их метрологического обеспечения НИЧ 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 17 293-85-40  
E-mail: osipov@bsuir.by  
Осипов Анатолий Николаевич

#### Information about the authors

**Osipov A. N.**, Cand. of Sci., Head of the Center for Interdisciplinary Research of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Rolich O. Ch.**, Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information and Computer-Aided Systems of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Kluev A. P.**, Senior Lecturer at the Department of Engineering Psychology and Ergonomics of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Vladymtsev V. D.**, Assistant at the Department of Computer Science of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Migalevich S. A.**, M. of Sci., Head of the Center for Informatization and Innovative Developments of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

**Khazanovsky I. O.**, Deputy Head of the Research and Production and Educational Innovative Center of Microwave Technologies and their Metrological Supply of R&D Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

#### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovki St., 6  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
Tel.: +375 17 293-85-40  
E-mail: osipov@bsuir.by  
Osipov Anatoly Nikolaevich