



# ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ. СЕРИЯ: ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

2022 Том 19 № 1

DOI 10.22363/2312-8631-2022-19-1

<http://journals.rudn.ru/informatization-education>

Научный журнал

Издается с 2004 г.

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-61217 от 30.03.2015 г.

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов»

## Главный редактор

*Гриникун Вадим Валерьевич*, академик РАО, доктор педагогических наук, профессор, кафедра информационных технологий в непрерывном образовании, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

## Заместитель главного редактора

*Григорьева Наталия Анатольевна*, доктор исторических наук, профессор, кафедра истории России, факультет гуманитарных и социальных наук, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

## Ответственный секретарь

*Корнилов Виктор Семенович*, доктор педагогических наук, профессор, департамент информатизации образования, Институт цифрового образования, Московский городской педагогический университет, Москва, Россия

## Члены редакционной коллегии

*Беркимбаев Камалбек Мейрбекович* – доктор педагогических наук, профессор, вице-президент по научно-исследовательской работе, Международный казахско-турецкий университет имени Х.А. Ясави, Туркестан, Казахстан

*Бидайбеков Есен Ыкласович* – доктор педагогических наук, профессор, кафедра информатики и информатизации образования, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алма-Ата, Казахстан

*Григорьев Сергей Георгиевич* – член-корреспондент РАО, доктор технических наук, профессор, департамент информатики, управления и технологий, Московский городской педагогический университет, Москва, Россия

*Заславская Ольга Юрьевна* – доктор педагогических наук, профессор, департамент информатизации образования, Московский городской педагогический университет, Москва, Россия

*Игнатьев Олег Владимирович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий в непрерывном образовании, Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

*Ковачева Евгения* – доцент, Университет библиотковедения и информационных технологий, София, Болгария

*Кузнецов Александр Андреевич* – академик РАО, доктор педагогических наук, профессор, Москва, Россия

*Лавонен Яри* – доктор, профессор физики и химии, начальник отдела педагогического образования, Университет Хельсинки, Хельсинки, Финляндия

*Фомин Сергей* – профессор, департамент математики и статистики, Университет Калифорнии, Чико, Калифорния, США

*Хьюз Джоанн* – профессор, член ЮНЕСКО, директор, Центр открытого обучения, Королевский университет Белфаста, Белфаст, Великобритания

## **ВЕСТНИК РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ. СЕРИЯ: ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ**

ISSN 2312-8631 (Print); ISSN 2312-864X (Online)

4 выпуска в год (ежеквартально).

Языки: русский, английский.

Входит в перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ.

Материалы журнала размещаются на платформах РИНЦ на базе Научной электронной библиотеки (НЭБ), DOAJ, EBSCOhost, Cyberleninka, Ulrich's Periodical Directory, WorldCat, East View, ERICH Plus, Dimensions.

### **Цель и тематика**

Ежеквартальный научный рецензируемый журнал по проблемам информатизации образования «Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования» издается Российским университетом дружбы народов с 2004 года.

Цель журнала – публикация оригинальных статей, содержащих результаты теоретических, аналитических и экспериментальных исследований эффективности российских и зарубежных подходов к использованию современных информационных и телекоммуникационных технологий на всех уровнях системы образования.

На страницах журнала описываются эффективные приемы создания цифровых образовательных ресурсов, формирования цифровой образовательной среды, развития дистанционного, смешанного и перевернутого обучения, информатизации инклюзивного образования, персонализации подготовки студентов и школьников на основе применения цифровых технологий.

Публикуемые статьи содержат проверенные теорией и практикой рекомендации по подготовке и переподготовке педагогов к осуществлению профессиональной деятельности в условиях глобального и повсеместного использования таких новейших технологий, как цифровое моделирование, интернет вещей, искусственный интеллект, большие данные, цифровая робототехника, иммерсивных, гипермедиа и других технологий. Особое внимание уделяется исследованию авторских содержания, методов и средств обучения информатике.

Основные тематические разделы:

- дидактические аспекты информатизации образования;
- правовые аспекты информатизации образования;
- интернет-поддержка профессионального развития педагогов;
- образовательные электронные издания и ресурсы;
- электронные средства поддержки обучения;
- формирование информационно-образовательной среды;
- инновационные педагогические технологии в образовании;
- менеджмент образовательных организаций;
- педагогическая информатика;
- развитие сети открытого дистанционного образования;
- Болонский процесс и информатизация образования;
- зарубежный опыт информатизации образования.

Журнал адресован мировой научной общественности, исследователям, преподавателям в сфере информатизации образования, педагогам, учителям и докторантам.

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ по специальностям «Общая педагогика, история педагогики и образования», «Теория и методика обучения и воспитания», «Теория и методика профессионального образования».

---

Редактор *Ю.А. Заикина*

Компьютерная верстка *Ю.А. Заикиной*

#### **Адрес редакции:**

Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

#### **Адрес редакционной коллегии журнала:**

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 10, корп. 2

Тел.: +7 (495) 434-87-77; e-mail: [infoeduj@rudn.ru](mailto:infoeduj@rudn.ru)

---

Подписано в печать 21.03.2022. Выход в свет 28.03.2022. Формат 70×108/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 5,60. Тираж 500 экз. Заказ № 3. Цена свободная.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Российский университет дружбы народов»

Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Отпечатано в типографии ИПК РУДН

Российская Федерация, 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Тел. +7 (495) 955-08-74; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)



## RUDN JOURNAL OF INFORMATIZATION IN EDUCATION

2022 VOLUME 19 NUMBER 1

DOI 10.22363/2312-8631-2022-19-1

<http://journals.rudn.ru/informatization-education>

Founded in 2004

Founder: PEOPLES' FRIENDSHIP UNIVERSITY OF RUSSIA

---

### EDITOR-IN-CHIEF

*Vadim V. Grinshkun* – Academician of the Russian Academy of Education, Doctor of Pedagogical Sciences, Full Professor, Department of Information Technologies in Continuing Education, RUDN University, Moscow, Russia

### ASSOCIATE EDITOR-IN-CHIEF

*Natalia A. Grigorieva* – Doctor of Historical Sciences, Full Professor, Department of History of Russia, Faculty of Humanities and Social Sciences, RUDN University, Moscow, Russia

### ASSISTANT TO THE EDITOR-IN-CHIEF

*Viktor S. Kornilov* – Doctor of Pedagogical Sciences, Full Professor, Department of Education Informatization, Institute of Digital Education, Moscow City University, Moscow, Russia

### EDITORIAL BOARD

*Kamalbek M. Berkimbayev* – Doctor of Pedagogical Sciences, Full Professor, Vice-President for Research Work, International Kazakh-Turkish University named after H.A. Yasavi, Turkistan, Kazakhstan

*Esen Y. Bidaybekov* – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Department of Informatics and Informatization of Education, Kazakh National Pedagogical University named after Abay, Almaty, Kazakhstan

*Sergey Fomin* – Professor, Department of Mathematics and Statistics, California State University, Chico, California, USA

*Sergey G. Grigoriev* – corresponding member, Russian Academy of Education, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor, Department of IT, Management and Technology, Moscow City University, Moscow, Russia

*Joann Hughes* – Professor, member of UNESCO, Director, Center of Open Training, Royal University of Belfast, Belfast, United Kingdom

*Oleg V. Ignatyev* – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Information Technologies in Continuous Education, RUDN University, Moscow, Russia

*Eugenia Kovacheva* – Associate Professor in Informatics and ICT Applications in Education, State University of Library Studies and Information Technologies, Sofia, Bulgaria

*Alexander A. Kuznetsov* – Academician of the Russian Academy of Education, Doctor of Pedagogical Sciences, Full Professor, Moscow, Russia

*Jari Lavonen* – Doctor, Professor of Physics and Chemistry, Head of the Department of Teacher Education, University of Helsinki, Helsinki, Finland

*Olga Yu. Zaslavskaya* – Doctor of Pedagogical Sciences, Full Professor, Professor, Department of Education Informatization, Moscow City University, Moscow, Russia

**RUDN JOURNAL OF INFORMATIZATION IN EDUCATION**  
**Published by the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University)**

ISSN 2312-8631 (Print); ISSN 2312-864X (Online)

Publication frequency: quarterly.

Languages: Russian, English.

Indexed in Russian Index of Science Citation, DOAJ, EBSCOhost, Cyberleninka, Ulrich's Periodical Directory, WorldCat, East View, ERICH Plus, Dimensions.

**Aim and Scope**

The quarterly scientific reviewed journal on education informatization problems *RUDN Journal of Informatization in Education* is published by the Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University) since 2004.

The aim of the journal is to publish original scientific papers that report theoretical, analytical and experimental studies on the effectiveness of Russian and foreign approaches of using contemporary information and communication technologies in all levels of education.

The journal scope covers the whole spectrum of EdTech landscape, including curriculum development and course design, digital educational environment, distance, blended and flipped learning, digital technology for inclusion, ICTs and personalized learning for students and high-school children.

The published papers cover theory-based, practice-proven recommendations for teacher training and retraining programmes aim to develop skills in using digital modelling, internet of things, artificial intelligence, big data, robotics, immersive and hypermedia solutions and other technologies. There is a particular focus on teaching methods for computer science.

Main thematic sections:

- didactic aspects of education informatization;
- legal aspects of education informatization;
- internet support of professional development of teachers;
- educational electronic editions and resources;
- electronic means of support of training;
- formation of information: educational medium;
- innovative pedagogical technologies in education;
- management of educational institutions;
- pedagogical computer science;
- development of the net of open distant education;
- Bologna Process and education informatization;
- foreign experience of informatization in education.

The journal for the world scientific community: researchers, EdTech teachers, educators, doctoral students.

---

Copy Editor *Iu.A. Zaikina*  
Layout Designer *Iu.A. Zaikina*

**Address of the editorial office:**

3 Ordzhonikidze St, Moscow, 115419, Russian Federation  
Tel.: +7 (495) 955-07-16; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

**Address of the editorial board of RUDN Journal of Informatization in Education:**

10 Miklukho-Maklaya St, bldg 2, Moscow, 117198, Russian Federation  
Ph.: +7 (495) 434-87-77; e-mail: [infoeduj@rudn.ru](mailto:infoeduj@rudn.ru)

---

Printing run 500 copies. Open price.

Peoples' Friendship University of Russia  
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation

Printed at RUDN Publishing House  
3 Ordzhonikidze St, Moscow, 115419, Russian Federation  
Tel.: +7 (495) 955-08-74; e-mail: [publishing@rudn.ru](mailto:publishing@rudn.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

### **ГЛОБАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ**

**Пак Н.И., Бархатова Д.А., Хегай Л.Б.** Метод пирамиды в условиях цифровизации образования ..... 7

**Шелепаева А.Х.** Цифровая трансформация: основные подходы к определению понятия ..... 20

### **ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНКЛЮЗИВНОМ ОБРАЗОВАНИИ**

**Пудич А.С., Гриф М.Г., Бакаев М.А.** Исследование доступности веб-сайтов вузов России для лиц с ограничениями по зрению ..... 29

### **ПЕДАГОГИКА И ДИДАКТИКА ИНФОРМАТИЗАЦИИ**

**Afanas A.** Constataion of the teachers' competence areas in general education (Определение сфер компетенции учителей общего образования) ..... 45

### **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**

**Kornilov V.S.** Development of students' scientific knowledge on computer modeling while teaching inverse problems for differential equations (Развитие научных знаний студентов по компьютерному моделированию при обучении обратным задачам для дифференциальных уравнений) ..... 54

## CONTENTS

### **INFORMATIZATION OF EDUCATION: A GLOBAL PERSPECTIVE**

**Pak N.I., Barkhatova D.A., Khegay L.B.** The pyramid method in the conditions of the digitalization of education ..... 7

**Shelepaeva A.Kh.** Digital transformation: basic approaches to defining the notion ..... 20

### **DIGITAL TECHNOLOGY FOR INCLUSION**

**Pudich A.S., Grif M.G., Bakaev M.A.** Research of the accessibility of Russian universities websites for persons with visual disabilities ..... 29

### **PEDAGOGY AND DIDACTICS IN INFORMATIZATION**

**Afnas A.** Constataion of the teachers' competence areas in general education ..... 45

### **EVOLUTION OF TEACHING AND LEARNING THROUGH TECHNOLOGY**

**Kornilov V.S.** Development of students' scientific knowledge on computer modeling while teaching inverse problems for differential equations ..... 54



# ГЛОБАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ INFORMATIZATION OF EDUCATION: A GLOBAL PERSPECTIVE

DOI 10.22363/2312-8631-2022-19-1-7-19

УДК 378.1

Научная статья / Research article

## Метод пирамиды в условиях цифровизации образования

Н.И. Пак<sup>ID</sup>, Д.А. Бархатова<sup>ID</sup>✉, Л.Б. Хегай<sup>ID</sup>

Красноярский государственный педагогический университет имени В.П. Астафьева,  
Красноярск, Россия

✉ darry@mail.ru

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Цифровая трансформация образования обуславливает необходимость новых подходов к разработке цифровых образовательных ресурсов, проектированию учебных и научных проектов. Они должны обеспечивать высокую степень персонализации обучения, структурировать процессы организации, мониторинга и оценки качества образовательных продуктов и результатов. В процессе цифровизации образования расширяются цели образовательной системы. В этой связи работа посвящена обоснованию метода пирамиды для решения образовательных задач, соответствующих современным требованиям цифрового общества. *Методология.* Проведенный анализ метода пирамиды, разработанный Барбарой Минто, применяемый в проектировании дорожных карт развития бизнеса и способствующий развитию структурного мышления как одного из самых востребованных качеств современного специалиста, позволил выделить ряд преимуществ и достоинств в случае трансформации этого метода для решения образовательных проблем. В частности, метод удобен для разработки учебного контента в формате пирамидального дерева знаний, формирования четких планов и заданий обучаемым по темам курсовых и дипломных работ, мониторинга и оценки качества образовательных результатов, сложных систем и объектов. *Результаты.* Показаны примеры применения метода пирамиды для создания перевернутых учебных ресурсов, повышения интерактивности при проведении лекций и практических занятий, организации контроля и самоконтроля знаний обучаемых, мониторинга и оценки качества образовательных ресурсов и систем. *Заключение.* Метод пирамиды облегчает процесс создания цифровых образовательных ресурсов, в максимальной степени соответствующих особенностям современного поколения и удовлетворяющих принципам персонализации обучения. Его освоение и применение в учебной деятельности самими обучающимися способствует развитию у них структурного мышления.

**Ключевые слова:** метод пирамиды, структурное мышление, вопросно-задачное дерево знаний

© Пак Н.И., Бархатова Д.А., Хегай Л.Б., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Благодарности и финансирование.** Исследование выполнено при поддержке краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках реализации проекта № 2021011106914 «Образовательная трансформационная Платформа «перевернутых» учебных ресурсов для дистанционного обучения школьников», а также по проекту «Создание национальной системы мониторинга развития цифровой образовательной среды практик дополнительного образования детей», который реализуется при финансовой поддержке Министерства просвещения РФ, в рамках государственного задания № 073-00052-21-01.

**История статьи:** поступила в редакцию 10 сентября 2021 г.; доработана после рецензирования 15 октября 2021 г.; принята к публикации 20 октября 2021 г.

**Для цитирования:** Пак Н.И., Бархатова Д.А., Хегай Л.Б. Метод пирамиды в условиях цифровизации образования // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2022. Т. 19. № 1. С. 7–19. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-7-19>

## The pyramid method in the conditions of the digitalization of education

Nikolay I. Pak , Darya A. Barkhatova ✉, Lyudmila B. Khегay 

*Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, Krasnoyarsk, Russia*  
✉ darry@mail.ru

**Abstract.** *Problem statement.* The digital transformation of education necessitates new approaches to the development of digital educational resources, the design of educational and scientific projects. They should provide a high degree of personification of training, structure the processes of organizing, monitoring and assessing the quality of educational products and results. In the process of digitalization of education, the goals of the educational system are expanding. In this regard, the work is devoted to the substantiation of the pyramid method for solving educational problems that meet the modern requirements of a digital society. *Methodology.* The analysis of the pyramid method, developed by Barbara Minto, used in the design of roadmaps for business development and contributing to the development of structural thinking, as one of the most sought-after qualities of a modern specialist, made it possible to highlight a number of advantages and benefits in the case of transformation of this method to solve educational problems. In particular, the method is convenient for the development of educational content in the format of a pyramidal tree of knowledge, for the formation of clear plans and assignments for students on the topics of coursework and diploma works, for monitoring and assessing the quality of educational results, complex systems and objects. *Results.* Examples of using the pyramid method for creating inverted educational resources, increasing interactivity during lectures and practical classes, organizing control and self-control of students' knowledge, monitoring and assessing the quality of educational resources and objects are shown. *Conclusion.* The pyramid method facilitates the process of creating digital educational resources that correspond to the maximum extent to the characteristics of the modern generation and satisfy the principles of personification of learning. Its mastering and application in educational activities by the students themselves contributes to the development of their structural thinking.

**Keywords:** pyramid method, structural thinking, question-task knowledge tree

**Acknowledgements and Funding.** The study was carried out with the support of Regional State Autonomous Institution “Krasnoyarsk Regional Fund for Support of Scientific and Scientific-Technical Activities” within the framework of the project No. 2021011106914 “Educational Transformational Platform of ‘Inverted’ Educational Resources for Distance Learning of Schoolchildren”, as well as under the project “Creation of a National System for Monitoring the Development of a Digital Educational Environment for the Practice of Additional Education of Children,” which is implemented with the financial support of the Ministry of Education of the Russian Federation, within the framework of the state tasks No. 073-00052-21-01.

**Article history:** received 10 September 2021; revised 15 October 2021; accepted 20 October 2021.

**For citation:** Pak NI, Barkhatova DA, Kheday LB. The pyramid method in the conditions of the digitalization of education. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2022;19(1):7–19. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-7-19>

**Постановка проблемы.** Динамичный рост научно-технического прогресса, интеллектуальные производства, непредсказуемые угрозы определяют необходимость формировать у будущих специалистов адекватные способности и компетенции. Одной из важнейших среди них исследователи считают структурное мышление. Этот вид мышления представляет навык, который позволяет видеть взаимосвязи на всех уровнях, дает возможность разбивать целое на компоненты и из набора элементов создавать целостные структуры и системы. Для его развития Барбарой Минто предложен метод пирамиды [1], который позволяет планировать оптимальный и успешный способ решения проблем бизнес-структур и компаний. В экономическом сообществе метод признан одним из лучших и успешных практик решения бизнес-проблем. Метод пирамиды опирается на принцип МЕСЕ (Mutually Exclusive, Collectively Exhaustive – взаимно исключающие, совместно исчерпывающие), определяющий процедуру решения проблемы путем создания отдельных непересекающихся вопросов, относящихся к рассматриваемой проблеме [2]. Суть метода заключается в выборе основного вопроса или ситуации, делящихся на ряд проблем и задач, которые далее также разделяются на части до тех пор, пока разбивка не приведет к конкретным решениям.

Цифровая трансформация образования высветила ряд серьезных и труднорешаемых проблем, обладающих многофакторными взаимно влияющими характеристиками. В этой связи представляет интерес трансформировать метод пирамиды Б. Минто для решения образовательных проблем.

Цель настоящей работы заключается в обосновании применения метода пирамиды для решения некоторых современных образовательных задач и проблем в условиях цифровой трансформации образования.

**Методология.** Несмотря на огромный спектр различных цифровых образовательных ресурсов (Coursera<sup>1</sup>, edX<sup>2</sup>, Udacity<sup>3</sup>, MIT Open Course Ware<sup>4</sup>,

---

<sup>1</sup> Официальный сайт. URL: <https://www.coursera.org>

<sup>2</sup> Официальный сайт. URL: <https://www.edx.org>

<sup>3</sup> Официальный сайт. URL: <https://www.udacity.com>

<sup>4</sup> Официальный сайт. URL: <http://ocw.mit.edu/index.htm>

Khan Academy<sup>5</sup>, «Открытое образование»<sup>6</sup>, «Лекториум»<sup>7</sup> и др.), их результативность пока имеет очень низкий уровень [3–5]. Одной из причин возникшей ситуации исследователи называют недостаточный уровень самоорганизации обучаемых, их низкий коэффициент *soft skills*<sup>8</sup>.

Обучение, как детей, так и взрослых, особенно в дистанционном формате, требует специальных подходов организации деятельности. К примеру, Российская электронная школа (РЭШ), Московская электронная школа (МЭШ) и другие содержат в себе разработки по школьным дисциплинам, построенные в соответствии со школьной программой и отвечающие требованиям классно-урочной системы. Однако анализ подобных цифровых образовательных ресурсов и сервисов для организации учебного процесса школ в дистанционной форме показал необходимость построения курсов с использованием адаптивных и интерактивных заданий, с ролью полноценного самоучителя с обратной связью [6].

Электронные курсы должны держать внимание участника активным, поддерживать и усиливать его мотивацию. При их разработке важно учитывать когнитивные особенности нового «цифрового» поколения [7; 8]. Представляется необходимым создавать учебный контент и организовывать занятия в разных форматах, близких по «духу» к развлекательным видео в YouTube, постам в социальных сетях или просто записям известных блогеров [9]. Современный интернет позволяет не только удержать внимание посетителя сайта столько времени, сколько требуется заказчику, но и заставить действовать его по сценарию заказчика. Разработчики интернет-контента привлекают внимание пользователей путем обозначения проблемы, обострения проблемы, показа надежды на ее разрешение и, наконец, демонстрации решения проблемы<sup>9</sup>.

Очевидно, что подобный подход следует использовать при создании образовательного контента. Внимание и мотив к познанию можно повысить с помощью некоторых инструментов и техник: визуализации посредством когнитивных схем и карт; небольших порций учебного контента; вопросного формата учебного материала [10]. Вопросный способ обучения для современных школьников становится привычным – у них сформированы умения поиска информации путем запросов в поисковых системах заголовков к постам, сформулированных в проблемной форме.

В настоящее время требования работодателей к подготовке современных специалистов уже содержат когнитивные и интеллектуальные компетенции [11; 12]. По мнению многих ученых наиболее востребованным качеством специалиста будущего является структурное мышление [1; 2]. В одной из крупнейших и успешных компаний McKinsey & Company процесс решения проблемы начинается с составления структурированных схем, которые помогают

<sup>5</sup> Официальный сайт. URL: <http://ru.khanacademy.org>

<sup>6</sup> Официальный сайт. URL: <https://openedu.ru/>

<sup>7</sup> Официальный сайт. URL: <https://www.lektorium.tv/>

<sup>8</sup> *Артюгина Е.* Почему MOOK – тупиковая ветвь онлайн-образования? // Skill Factory. URL: <https://vc.ru/skillfactory/178738-pochemu-mook-tupikovaya-vetv-onlayn-obrazovaniya> (дата обращения: 20.08.2021).

<sup>9</sup> *Бразговский Ф.* Понимание принципов LandingPage // Tilda Education. URL: <https://tilda.education/courses/landing-page/understanding-main-principles/> (дата обращения: 20.08.2021).

составить карту для исследований и анализа [2]. Структурированные схемы, как правило, составляют в виде дерева вопросов, на которые нужно ответить, чтобы подтвердить или опровергнуть гипотезу. Каждый вопрос, возникший в связи со схемой, обычно можно разбить на подвопросы, и их, в свою очередь, тоже. Эта визуализированная последовательность вопросов и подвопросов позволяет сформировать гипотезу и создает «дорожную карту» анализа проблемы.

Дерево вопросов также позволяет очень быстро исключить тупиковые ветви в ходе анализа, так как ответ на любой вопрос сразу же отсекает ложные пути. Решая проблемы, многие пытаются исследовать все возможные аспекты, однако это долгий и не всегда результативный способ, ведь нет необходимости исследовать все факторы одинаково глубоко. Способность «срезать» с дерева лишние ветви, чтобы сосредоточиться на важных, дает хороший шанс найти оптимальный и эффективный вариант решения проблемы [2].

Принцип МЕСЕ и метод пирамиды могут быть полезно использованы для решения многих образовательных проблем, в частности в построении современного учебного контента, методах диагностики знаний, оценках и мониторинге качества образовательных сред и систем.

**Результаты и обсуждение.** В первую очередь метод пирамиды удобно использовать для создания перевернутых учебных ресурсов [13].

Примеры построения дерева вопросов по некоторым отдельным темам школьного курса математики, созданные студентами, приведены на рис. 1–2.

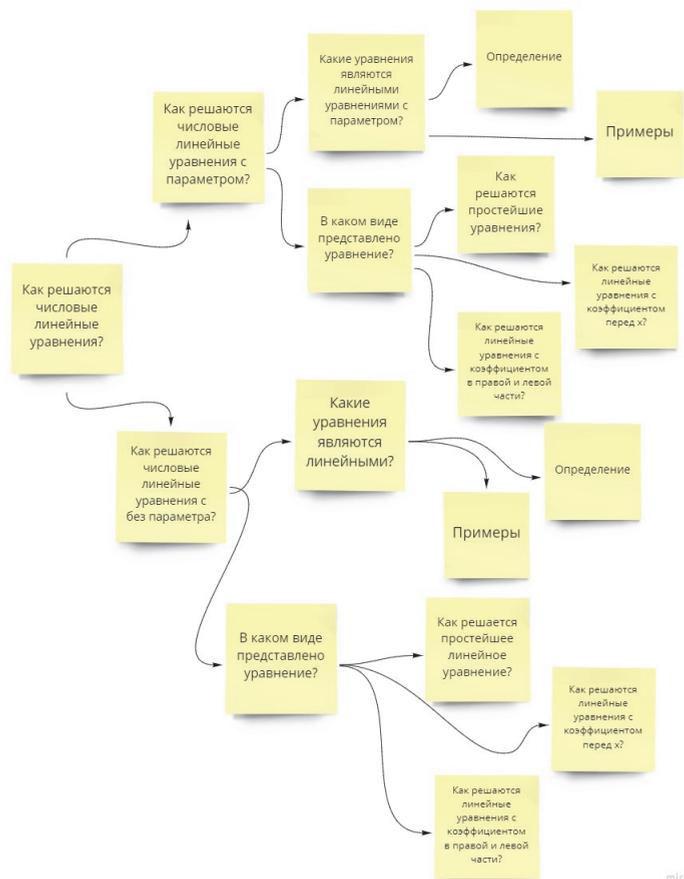


Рис. 1. Дерево вопросов по теме «Линейные уравнения», алгебра 7 класс

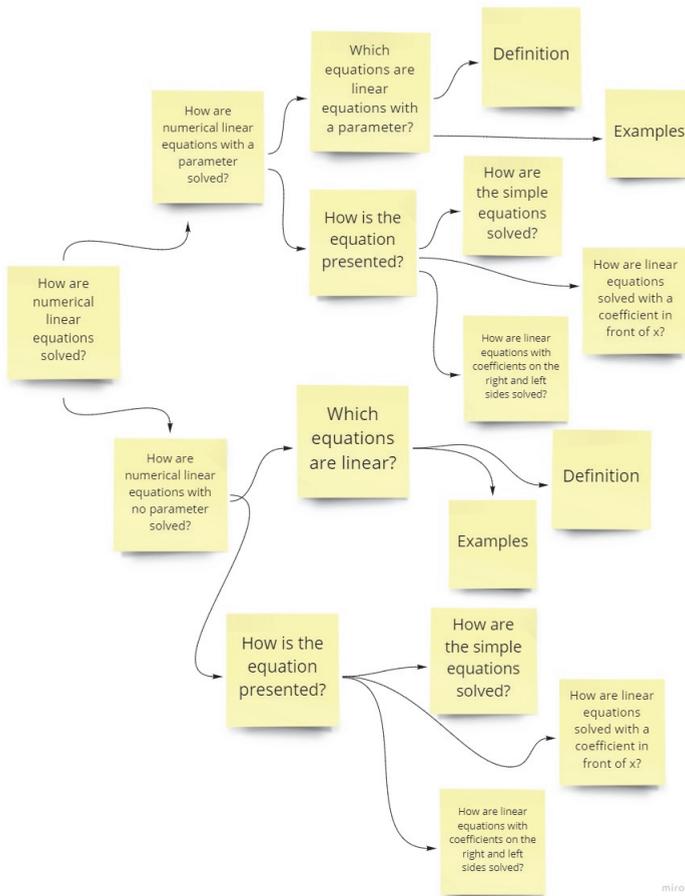


Figure 1. Question tree on the topic “Linear equations,” algebra grade 7



Рис. 2. Дерево вопросов по теме «Объем геометрических фигур»

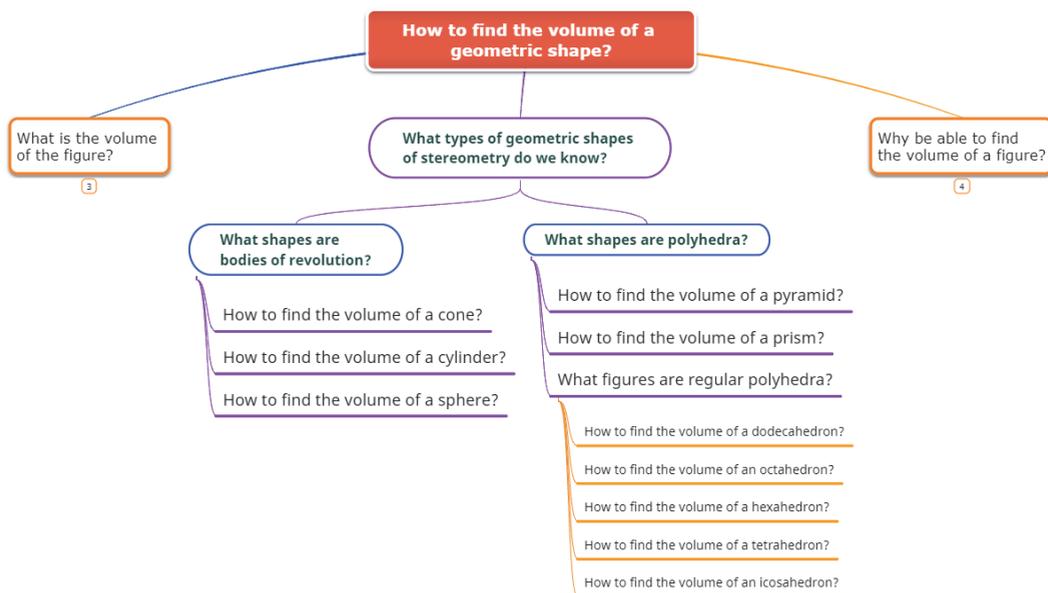


Figure 2. Question tree on the topic "The volume of geometric shapes"



Рис. 3. Ветви дерева вопросов по теме «Тригонометрические функции»

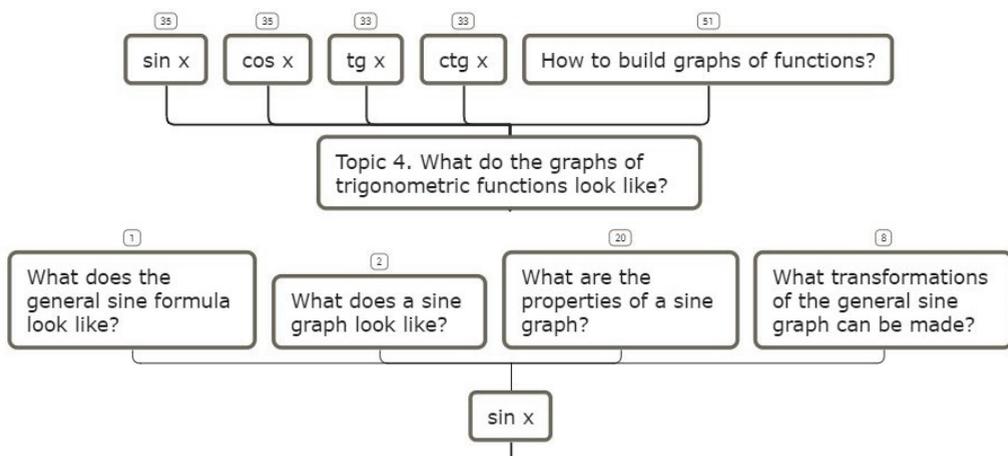
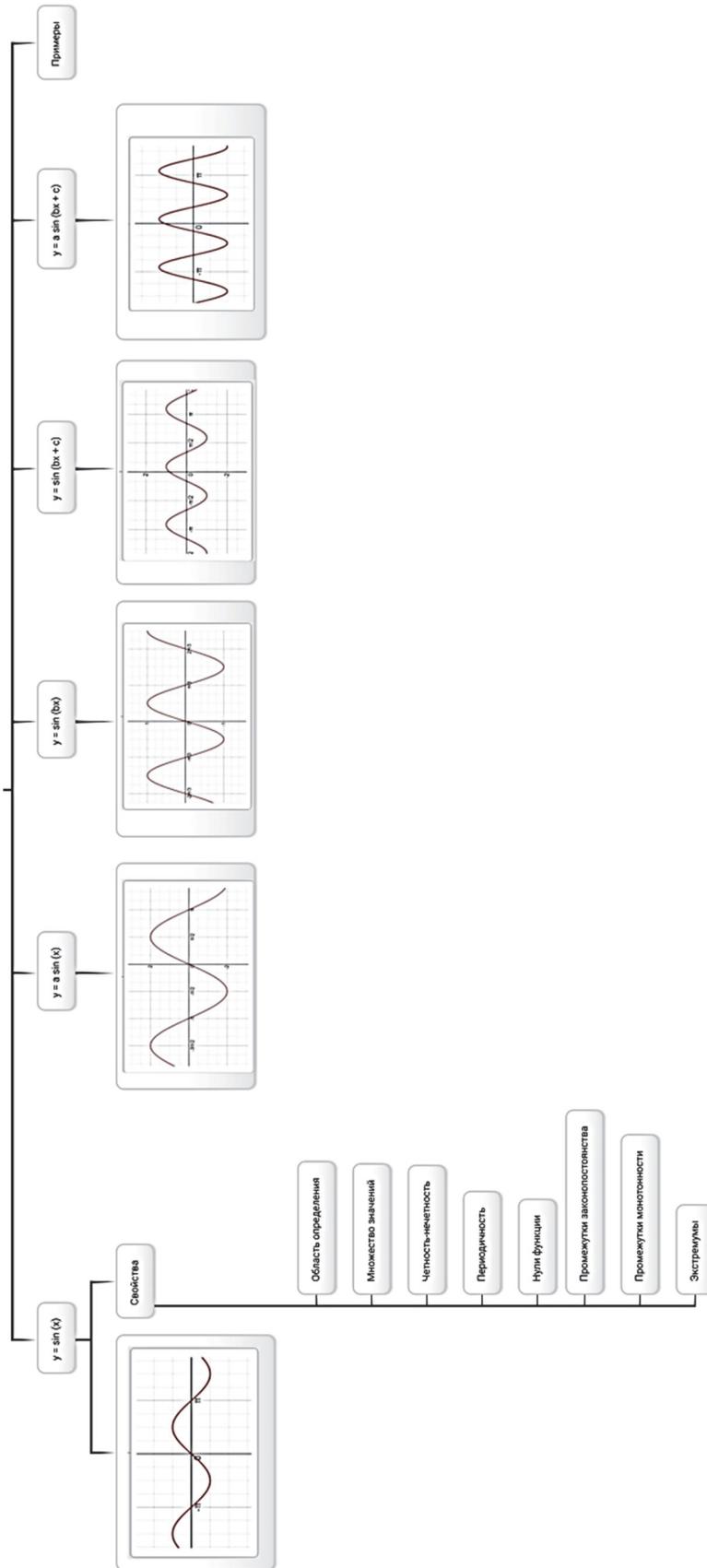


Figure 3. Branches of the tree of questions on the topic "Trigonometric functions"



**Рис. 4.** Информационный фрагмент ответа на вопрос «Как выглядит график функции  $\sin(x)$ ?»

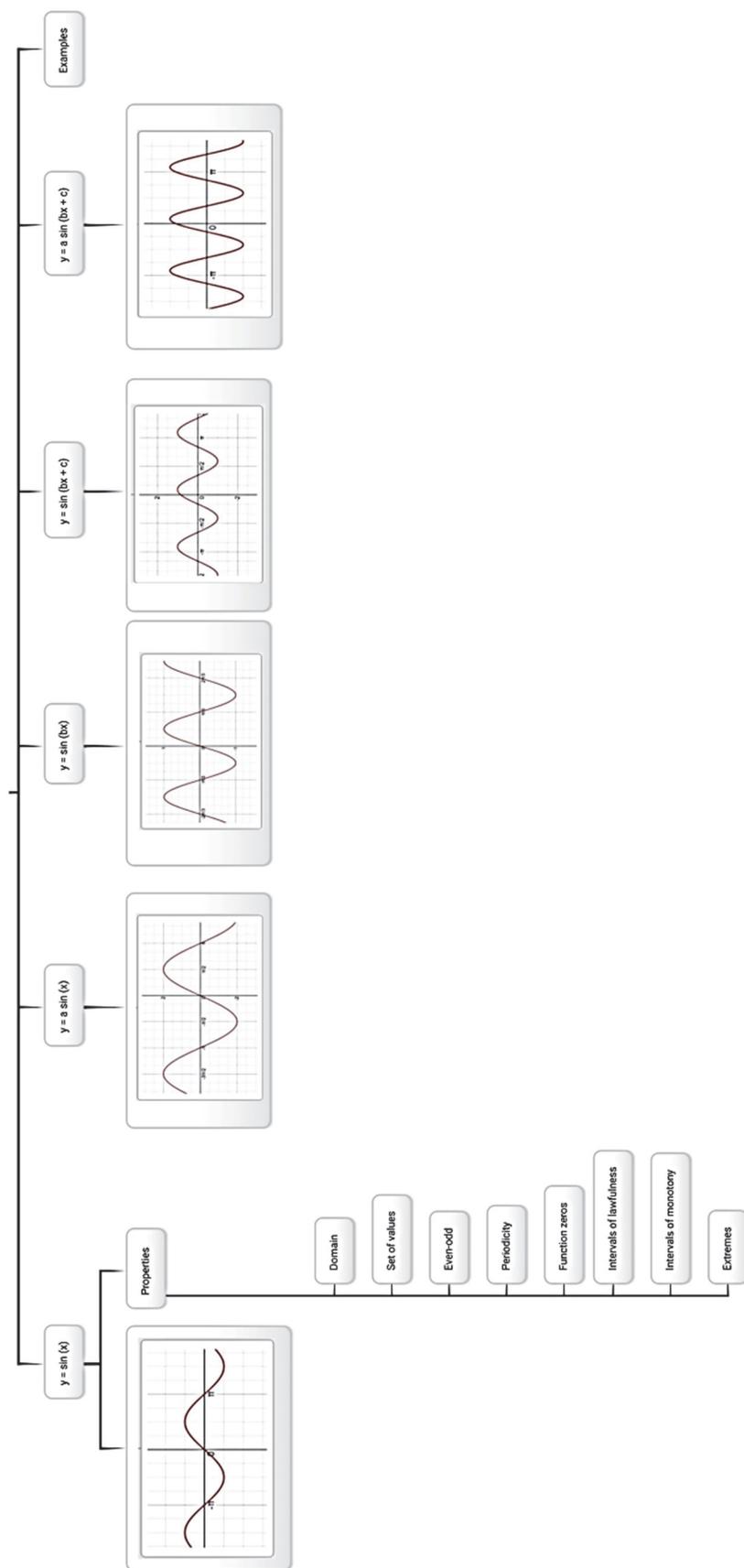


Figure 4. Informational fragment of the answer to the question "What does the graph of the  $\sin(x)$  function look like?"

Полное дерево вопросов учебной темы может достигать больших размеров. В частности, по теме «Тригонометрические функции», разработанное студентами дерево содержит 375 веток. Некоторые ветки дерева показаны на рис. 3.

Оконечные вопросы завершаются представлением ответов в виде ментальных карт, схем, формул, пояснений и пр. Например, на рис. 4 показан фрагмент информационного блока для одного из вопросов (как выглядит график функции  $\sin(x)$ ?) ветки дерева «Графики тригонометрических функций».

**Заключение.** Метод пирамиды и принцип МЕСЕ успешно применяются при решении экономических проблем, в проектировании дорожных карт развития бизнеса, способствуют развитию структурного мышления. Трансформация этого метода для образовательных целей позволяет в систематичном и структурированном виде решать ряд организационно-методических и учебных проблем.

При использовании этого метода для разработки учебного контента предлагается создавать пирамидальное дерево знаний по двум сценариям: 1) «сверху – вниз» – разрабатывается традиционная древовидная уровневая структура тематического планирования учебного курса, затем для всех тем и подтем формулируются вопросы, ответы на которые будут отражать их учебное содержание; 2) «снизу – вверх» – формируются элементарные вопросы к конкретным задачам и учебным ситуациям, затем их кластеризуют в укрупненные вопросы, которые также обобщаются в основополагающие вопросы тем и учебного курса в целом. Вовлечение самих студентов в процесс создания вопросных деревьев знаний позволяет им приобрести навык использования метода пирамиды и развивает у них структурное мышление.

Метод пирамиды облегчает процесс создания цифровых образовательных ресурсов, в максимальной степени соответствующих особенностям современного поколения и удовлетворяющих принципам персонификации обучения. Эти ресурсы представляют перевернутый формат учебного контента, наиболее пригодный для самостоятельного домашнего обучения.

Известно, что успешное выполнение студентом курсовых и дипломных работ во много зависит от понятных и четких заданий и предписаний научного руководителя. Совместная разработка дорожной карты научных исследований с использованием метода пирамиды облегчает понимание и результативное выполнение студентом задач научной работы.

Успешный пример применения метода пирамиды связан с организацией и проведением лекций и семинаров. Классические лекции в условиях наличия презентаций и электронных источников уже во многом не устраивают как студента, так и преподавателя. Метод пирамиды может позволить сменить стратегию обучения путем переструктурирования учебного материала. К примеру, в качестве эксперимента лекции по некоторым темам курсов «Теоретические основы информатики», «История информатики» проводились следующим образом: вначале студенты выбирали вопросы из предлагаемого вопросного дерева знаний курса и большинством голосов решали, на каком уровне (по сложности и объему) они хотели бы получить на них ответы. Лекции с подобным «демократическим» характером показали более высо-

кую активность и заинтересованность слушателей, большую степень обратной связи с лектором.

Метод пирамиды довольно четко структурирует диагностику знаний обучающихся, если по вопросно-задачному дереву составлять контрольные вопросы и тесты. По сути, сам вопросный формат тематического содержания курса определяет диагностический инструментарий.

Для многих мониторинговых и оценочных процедур, имеющих критериально-показательный характер, метод пирамиды может оказать высокую эффективность. К примеру, при оценке качества цифровых образовательных ресурсов, цифровых образовательных сред и т. п., удачное построение дерева вопросов позволит экспертам объективно давать ответы на них. Суммирующие оценки экспертных ответов по всем веткам «пирамиды вопросов» позволяют не только в целом дать характеристику оцениваемого объекта, но и диагностировать качества отдельных его частей и компонент.

Таким образом, приведенные примеры применения метода пирамиды в образовании позволяют утверждать о его высоких дидактических свойствах. Метод пирамиды в определенных условиях представляет эффективную педагогическую технологию.

### Список литературы

- [1] Минто Б. Золотые правила Гарварда и McKinsey. Правила магической пирамиды для делового письма. М.: РОСМЭН-ПРЕСС, 2004. 192 с.
- [2] Расиел И., Пол Фрига П. Инструменты McKinsey: лучшая практика решения бизнес-проблем. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2007. 224 с.
- [3] Reich J., Ruipérez-Valiente J.A. The MOOC pivot // Science. 2019. Vol. 11. Issue 363 (6423). Pp. 130–131. <http://doi.org/10.1126/science.aav7958>
- [4] Ломаско П.С., Мокрый В.Ю. Анализ причин неуспеваемости слушателей в процессе реализации онлайн-курсов повышения квалификации // Дистанционное обучение в высшем образовании: опыт, проблемы и перспективы развития. СПб.: Издательство СПГУП, 2019. С. 130–133.
- [5] Пеккер П.Л. Причины отсева слушателей при онлайн-обучении // Ценности и смыслы. 2019. № 1. С. 139–151.
- [6] Hattie J. Visible learning: a synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement. New York: Routledge, 2008. 392 p.
- [7] Миронова О.А. Проблемы и задачи цифрового образования в России в контексте теории поколений // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2019. № 1. С. 51–63.
- [8] Мирошкина М.Р. Интерпретации теории поколений в контексте российского образования // Ярославский педагогический вестник. 2017. № 6. С. 30–35.
- [9] Бессилина Н.Н., Гребёнкина Н.А., Евстратова М.В., Ишбулатова Н.И., Князев М.П., Кокорина Е.С., Королева Д.А., Червоненко Д.С., Шенцева Т.В., Шер Я.С., Шиманская С.О. Создание и использование образовательного контента: уроки для онлайн-обучения. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 48 с.
- [10] Barkhatova D.A., Balykbaev T.O., Pak N.I., Khegay L.B. A student's e-learning self-control method based on a topological knowledge tree // European Proceedings of Social & Behavioural Sciences. Vol. 90. Pp. 1039–1050. [https://doi.org/10.15405/epsbs\(2357-1330\).2020.10.3](https://doi.org/10.15405/epsbs(2357-1330).2020.10.3)
- [11] Гончарук Н.П. Интеллектуализация профессионального образования в техническом вузе: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. Казань, 2004. 40 с.

- [12] Сагдеева Г.С. Когнитивная составляющая самообразовательной компетентности // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 10–2. С. 126–128
- [13] Пак Н.И., Потупчик Е.Г., Хегай Л.Б. Концепция трансформационных и перевернутых электронных учебников // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2020. Т. 17. № 2. С. 153–168. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2020-17-2-153-168>

## References

- [1] Minto B. *Golden rules of Harvard and McKinsey. Rules of the magic pyramid for business writing*. Moscow: ROSMEN-PRESS; 2004. (In Russ.)
- [2] Rasiel I, Pol Friga P. *McKinsey tools: the best practice of solving business problems*. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber Publ.; 2007. (In Russ.)
- [3] Reich J, Ruipérez-Valiente JA. The MOOC pivot. *Science*. 2019;11(363):130–131. <http://doi.org/10.1126/science.aav7958>
- [4] Lomasko PS, Mokryj VYU. Analysis of the reasons for the failure of students in the process of implementing online refresher courses. *Distance Learning in Higher Education: Experience, Problems and Prospects of Development*. Saint Petersburg: Izdatel'stvo SPGUP Publ.; 2019. p. 130–133. (In Russ.)
- [5] Pekker PL. Reasons for dropping out of students in online learning. *Values and Meanings*. 2019;(1):139–151. (In Russ.)
- [6] Hattie J. *Visible learning: a synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. New York: Routledge; 2008.
- [7] Mironova OA. Problems and tasks of digital education in Russia in the context of the theory of generations. *Vestnik of Rostov State Economic University*. 2019;(1):51–63. (In Russ.)
- [8] Miroshkina MR. Interpretations of the theory of generations in the context of Russian education. *Yaroslavl Pedagogical Bulletin*. 2017;(6):30–35. (In Russ.)
- [9] Bessilina NN, Grebenkina NA, Evstratova MV, Ishbulatova NI, Knyazher MP, Kokorina ES, Koroleva DA, Chervonenko DS, Shentseva TV, Sher YaS, Shimanskaya SO. *Creation and use of educational content: lessons for online learning*. Moscow: NIU VSHE Publ.; 2020. (In Russ.)
- [10] Barkhatova DA, Balykbaev TO, Pak NI, Kheday LB. A student's e-learning self-control method based on a topological knowledge tree. *European Proceedings of Social & Behavioural Sciences*. 2020;90:1039–1050. [https://doi.org/10.15405/epsbs\(2357-1330\).2020.10.3](https://doi.org/10.15405/epsbs(2357-1330).2020.10.3)
- [11] Goncharuk NP. *Intellectualization professional education in a technical university* (abstract of the Dissertation of the Candidate of Pedagogical Sciences). Kazan; 2004. (In Russ.)
- [12] Sagdeeva GS. Cognitive component of self-educational competence. *Actual Problems of Humanities and Natural Sciences*. 2016;(10–2):126–128. (In Russ.)
- [13] Pak NI, Potupchik EG, Kheday LB. The concept of transformation and inverted electronic textbooks. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2020;17(2):153–168. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2020-17-2-153-168>

### Сведения об авторах:

Пак Николай Инсебович, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой информатики и информационных технологий в образовании, Красноярский государственный педагогический университет имени В.П. Астафьева, Российская Федерация, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89. ORCID: 0000-0003-2105-8861. E-mail: [koliapak@yandex.ru](mailto:koliapak@yandex.ru)

Бархатова Дарья Александровна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информатики и информационных технологий в образовании, Красноярский государ-

ственный педагогический университет имени В.П. Астафьева, Российская Федерация, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89. ORCID: 0000-0001-5121-7419. E-mail: darry@mail.ru

*Хегай Людмила Борисовна*, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информатики и информационных технологий в образовании, Красноярский государственный педагогический университет имени В.П. Астафьева, Российская Федерация, 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, д. 89. ORCID: 0000-0003-4163-9436. E-mail: hegail@yandex.ru

**Bio notes:**

*Nikolay I. Pak*, Doctor of Pedagogical Sciences, Full Professor, Head of the Department of Informatics and Information Technology in Education, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, 89 Ada Lebedeva St, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4163-9436. E-mail: koliapak@yandex.ru

*Darya A. Barkhatova*, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatics and Information Technologies in Education, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, 89 Ada Lebedeva St, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5121-7419. E-mail: darry@mail.ru

*Lyudmila B. Khegay*, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatics and Information Technologies in Education, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, 89 Ada Lebedeva St, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4163-9436. E-mail: hegail@yandex.ru



DOI 10.22363/2312-8631-2022-19-1-20-28

УДК 001:378.1

Научная статья / Research article

## Цифровая трансформация: основные подходы к определению понятия

А.Х. Шелепаева *Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия*✉ [akshelepaeva@fa.ru](mailto:akshelepaeva@fa.ru)

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Изменения в обществе в связи с многообразием использования информационно-коммуникационных технологий привели к активному использованию понятия «цифровая трансформация». Сложное полисемичное понятие описывает многофакторное явление, что обуславливает необходимость использования междисциплинарного подхода к анализу его содержания. В рамках исследования понятие «цифровая трансформация» изучалось в трех разрезах: философском, культурологическом и аксиологическом. *Методология.* Основным методом выбран библиометрический анализ российской электронной базы со встроенными средствами анализа. Количественные и качественные характеристики открытых источников по теме «Цифровая трансформация» анализировались с помощью закрытых систем поиска и машинного анализа больших текстов, таких как Microsoft Academic Graph и Dimensions.ai. Проведен контент-анализ и тематический мониторинг имеющихся публикаций по ключевым словам «цифровизация образования», «цифровая трансформация», «цифровая трансформация высшего образования». Оценка уровня заинтересованности данной проблематикой осуществлена по статистике запросов с использованием ресурса wordstat.ru. *Результаты.* Рассмотрение цифровой трансформации в широком контексте позволило сформулировать определения с использованием двух подходов: философского и культурологического. Аксиологический подход задает широкую рамку обсуждения и требует дополнительных исследований. *Заключение.* В процессе выполнения исследовательской работы с использованием различных средств статистического анализа сделана выборка как российских, так и зарубежных работ по проблеме цифровой трансформации. Рассмотрены три подхода к анализу цифровой трансформации, сформулированы определения и обоснована необходимость исследования трансформации образования с использованием антропологического подхода.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация, цифровизация, цифровая культура, цифровая трансформация образования

**История статьи:** поступила в редакцию 2 сентября 2021 г.; доработана после рецензирования 15 октября 2021 г.; принята к публикации 20 октября 2021 г.

**Для цитирования:** Шелепаева А.Х. Цифровая трансформация: основные подходы к определению понятия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2022. Т. 19. № 1. С. 20–28. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-20-28>

© Шелепаева А.Х., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Digital transformation: basic approaches to defining the notion

Albina Kh. Shelepaeva 

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

✉ akshelepaeva@fa.ru

**Abstract.** *Problem statement.* Changes in society in connection with the diversity of the use of information and communication technologies, has led to the active use of the concept of “digital transformation.” A complex polysemic notion describes a multifactorial phenomenon, which necessitates an interdisciplinary approach to the analysis of the concept’s content. *Methodology.* This study used bibliometric analysis of the Russian electronic database with built-in analysis tools. The quantitative and qualitative characteristics of open sources on the topic of “Digitalization of education” were analyzed using closed search systems and machine analysis of large texts, such as Microsoft Academic Graph and Dimensions.ai. Content analysis and thematic monitoring were carried out using the keywords “digitalization of education,” “digital transformation,” and “digital transformation of higher education.” The assessment of the level of interest in this topic was carried out according to the statistics of queries using the wordstat.ru resource. *Results.* The term “digital transformation” analyzed in a broad context. Digital transformation is defined using philosophical and cultural approaches. The axiological approach sets a broad framework for discussion and requires additional research. *Conclusion.* A sample of both Russian and foreign works on the problem of digital transformation was made using various means of statistical analysis. Three approaches to the analysis of digital transformation are considered, definitions are formulated and the need to study the transformation of education using an anthropological approach is substantiated.

**Keywords:** digital transformation, digitalization, digital culture, digital transformation of education

**Article history:** received 2 September 2021; revised 15 October 2021; accepted 20 October 2021.

**For citation:** Shelepaeva AKh. Digital transformation: basic approaches to defining the notion. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2022;19(1):20–28. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-20-28>

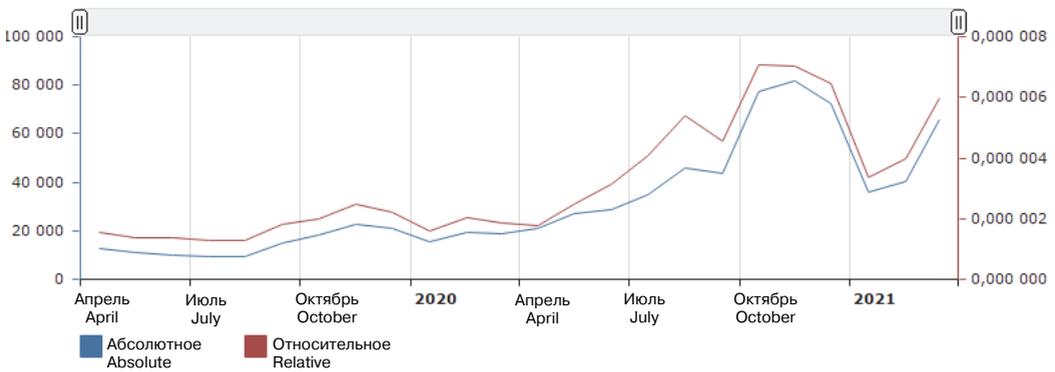
**Постановка проблемы.** История внедрения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в образовательный процесс имеет непродолжительный период, но уже можно выделить основные ее этапы, такие как компьютеризация (формирование компьютерной грамотности), информатизация (использование ИКТ в учебном процессе) и цифровизация образования, которая рассматривается в широком контексте. В рамках национального проекта «Образование» Министерство науки и высшего образования РФ подготовило документ о перспективах развития образования в Российской Федерации, в котором обозначены основные направления развития. Документ включает технологический аспект (разработку цифровой платформы), электронный документооборот (электронные зачетные книжки и студенческие билеты, электронный документ об образовании) и онлайн-образование. Подобный подход загоняет цифровизацию образования в очень узкие рамки.

Современный этап жизнедеятельности человека характеризуется появлением новых понятий, которые активно входят в речевой оборот, с размытыми представлениями и многообразием смыслов. Про цифровую трансформацию, даже учитывая новизну понятия, написано уже достаточно, чтобы провести сопоставительные исследования данной проблематики.

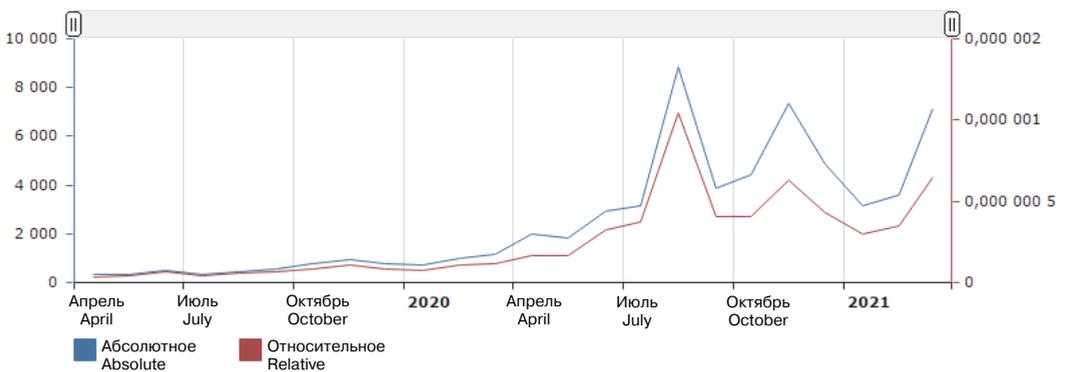
Исторически складывающаяся традиция словообразования от теории к практике изменила ориентиры. Характерной особенностью современности является возникновение новых слов в производственной сфере, и лишь затем слова становятся терминами (в философском плане) и начинают приобретать логико-семантические границы. Поэтому порой для описания одних и тех же явлений используют новые понятия и категории, либо одни и те же понятия трактуются по-разному, что не способствует нахождению оптимальных путей решения возникающих проблем современности.

Оценка пользовательского интереса к рассматриваемой проблеме проанализирована с использованием системы wordstat.ru. Результаты анализа представлены на рис. 1–3:

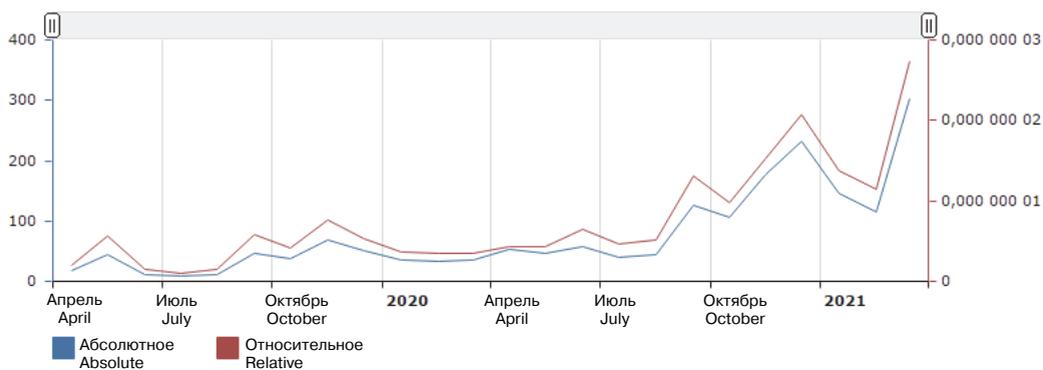
- цифровая трансформация – 64 010 запросов в месяц;
- цифровая трансформация образования – 6063;
- цифровая трансформация высшего образования – 292.



**Рис. 1.** Результаты запросов «Цифровая трансформация»  
**Figure 1.** Results of queries "Digital transformation"



**Рис. 2.** Результаты запросов «Цифровая трансформация образования»  
**Figure 2.** Results of queries "Digital transformation of education"



**Рис. 3.** Результаты запросов «Цифровая трансформация высшего образования»  
**Figure 3.** Results of queries “Digital transformation of higher education”

Результаты оценки запросов показывают, что уровень заинтересованности в цифровой трансформации образования ниже, чем в самой проблематике. Необходимо от общих тенденций в цифровой экономике переходить к цифровизации образования, чтобы избежать излишних рисков и проблем.

**Методология.** В статье представлены результаты исследования различных подходов к пониманию цифровой трансформации в разных сферах деятельности, обобщенные по трем основаниям. Основной целью исследования является необходимость раскрытия содержания понятия «цифровая трансформация образования», ибо многообразие понятий, таких как цифровая школа, цифровая грамотность, цифровизация образования и т. д., не только наполняет новым содержанием образовательный процесс, но и происходит смещение акцентов в использовании информационных технологий (ИТ). Если цифровизация производственной сферы деятельности имеет четкие направления развития, то сфера образования вызывает массу вопросов и проблем.

Тематический мониторинг осуществлялся по разработкам российских и зарубежных исследователей с использованием ресурсов Microsoft Academic Graph и Dimensions.ai.

**Результаты и обсуждение.** Рассмотрим существующие подходы к определению понятий для выделения значимых признаков изучаемого явления.

**Философский подход.** В рамках философского подхода выделяют мировоззренческие проблемы, и мы можем данную проблематику рассмотреть в широком контексте через раскрытие сущности, то есть выделение всеобщих связей и закономерностей. А.Г. Чернышов предлагает осмыслить методологические и стратегические аспекты будущей цифровизации, так как «цифровые инновации пока незначительно трансформируют мир по сравнению с изобретениями предыдущих промышленных революций» [1. С. 13]. Автор предлагает варианты культурного осмысления происходящих изменений, формирования ценностных знаний без использования унифицированных цифр в области научного знания и способов познания.

Сходные позиции в том, что изучение цифровых преобразований необходимо осуществлять через призму анализа парадигм мироустройства и эстетического опыта и исследовать в рамках изучения информационной безопасности, отражены в [2. С. 689]. Неоднозначность происходящих изменений под влиянием информационных и цифровых ресурсов отмечали на протяжении всего пе-

риода развития информационных технологий и другие авторы: Д. Белл, М. Ка-стельс, Э. Тоффлер и др.

О возникновении разных типов самоорганизации в цифровой реальности говорят Т.С. Ахромеева, Г.Г. Малинецкий и С.А. Посашков [3. С. 116]. Возникновение разных локализаций<sup>1</sup>, способных поддерживать уровень организации при изменении внешних условий, можем смело отнести к самоорганизующимся системам нового образца. При этом они сохраняют особенности развития других нелинейных самоорганизующихся систем, обладающих неустойчивостью и неопределенностью. Это означает, что при рассмотрении цифровой трансформации, обладающей функциональной зависимостью, нужно учитывать множественность состояния нелинейных систем и ввести степень неопределенности.

Суммируя вышеизложенное, при рассмотрении понятий в разрезе философского подхода необходимо:

- использовать широкую рамку описания;
- выделить проблемы мировоззренческого характера;
- задать ценностные ориентиры.

Тогда цифровая трансформация, может рассматриваться как философская категория, описывающая современный этап развития человечества и изменяющая парадигмы мироустройства за счет технологических решений в ИТ-индустрии и осмысления места человека в изменяющемся мире.

*Культурологический подход.* Экспоненциальное развитие различных технологий в сфере информационных технологий и искусственного интеллекта стали способствовать появлению популистских высказываний о замене человека машинами. В связи с чем есть необходимость усиления социогуманитарного познания. Именно культурологический подход в исследовании цифровой трансформации позволит выделить необходимые нормативные требования для изменения социальной и технологической среды существования человека.

В разработках ученых, специализирующихся в области прикладных культурологических исследований, чаще встречается понятие «цифровая культура». Одни рассматривают ее как феномен новых массмедиа, другие – как технологическую культуру, представленную в цифровых артефактах и символических структурах [4]. Интересна позиция Т.Ф. Кузнецовой, рассматривающей цифровую культуру как концепт, требующий осмысления на междисциплинарной основе, которая впоследствии должна стать регулятором цифровых преобразований в экономике [5. С. 119].

О необходимости «окультуривания» цифровизации говорят Е.В. Гна-тышева и А.А. Саламатов. Культурные преобразования под действием цифровизации требуют осмысления, особенно «в ситуации модернизации образовательных процессов» [6. С. 21]. И данные изменения уже можно рассматривать под углом зрения культурных ценностей, в контексте нравственных и эстетических идеалов, а также норм и образцов поведения.

Проблема описания цифровой трансформации в культурологическом разрезе имеет широкий контекст, что видно из разработок Д.В. Галкина, который выделяет следующие уровни цифровой культуры [4. С. 15]:

<sup>1</sup> Перечень технологических и организационных мер, используемых для адаптации к изменяемым условиям.

- материальный (анализ всего многообразия цифровых устройств);
- функциональный (развитие систем коммуникаций в социальной среде);
- символический (использование бинарного языка и искусственных языков программирования);
- ментальный (изменение установок и ценностей при работе с информацией);
- духовный (нравственные категории и ценности).

Для эффективных цифровых преобразований Э. Хартл и Т. Хесс выделяют двенадцать культурных ценностей [7]. Понятие «культура» воспринимается западными исследователями несколько в ином контексте, авторы больше внимания уделяют организационной культуре. Ценностями для организации, которые способствуют цифровой трансформации, являются: открытость к переменам, ориентированность на потребности клиента, развитие инноваций, гибкость в отношении изменений, готовность учиться, уровень доверия, ответственное предпринимательство в рамках организации, терпимое отношение к неудачам, построение разных моделей коммуникации, умение рисковать и действовать в условиях неопределенности, включенность сотрудников в процесс принятия решений, разные уровни сотрудничества.

В рамках культурологического подхода принято выделять следующие аспекты [8. С. 48]:

- нормативный (способы трансляции норм поведения);
- оценочный (формирование отношения к разным поведенческим моделям);
- целеполагания (выработка идеалов и ранжирование ценностей);
- познавательный (реконструирование поведенческих моделей разных поколений);
- коммуникативный (поддержка связей разных поколений) и т. д.

Цифровая трансформация в культурологическом срезе может рассматриваться как этап адаптация человека в цифровой среде и формирования цифровой культуры и способов сетевого взаимодействия, опирающихся на гуманистические и человеко-ориентированные основания.

*Аксиологический подход.* При использовании аксиологического (ценностного) подхода невозможно анализировать явление общими философскими категориями, возникает необходимость введения ограничений. В качестве рамок будут использованы сферы деятельности.

В литературе можно встретить кардинально отличающиеся подходы к пониманию цифровой трансформации бизнеса. Условно можно выделить два основных направления: технологическое и организационно-функциональное. В первом случае идет привязка к набору технологий, а во втором – к изменениям стратегий развития и функционирования бизнеса.

В сфере ИТ-индустрии сформировалась особенность давать определения новым понятиям от лица предприятия, то есть возникла тенденция формирования общего представления о чем-либо и групповая ответственность за результаты теоретического обобщения. Все ведущие ИТ-корпорации, так или иначе, втянуты в процесс цифровизации и предлагают свои варианты способов преобразования. Для оценки уровня цифровых преобразований даже появился термин «цифровая зрелость», который имеет четкие критерии оце-

нивания. Для начала изучим основные определения понятия «цифровая трансформация бизнеса» (таблица).

#### Определения понятия «Цифровая трансформация бизнеса»

№	Фирма	Определения
1	Hewlett Packard Enterprise	«Процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты бизнес-деятельности, требующий внесения коренных изменений в технологии, культуру, операции и принципы создания новых продуктов и услуг» <sup>2</sup>
2	Gartner	«Использование цифровых технологий и вспомогательных возможностей для создания надежной цифровой бизнес-модели» <sup>3</sup>
3	IDC (Analyze the future)	«Непрерывный процесс приспособления и управления критическими изменениями в работе из-за внешних влияний за счет использования цифровых компетенций» [9]
4	Boston Consulting Group (BCG)	«Цифровая трансформация – это максимально полное использование потенциала цифровых технологий во всех аспектах бизнеса» <sup>4</sup>
5	Forrester	«Достижение операционной эффективности и гибкости с использованием цифровых технологий» [10]

#### Definitions of the notion “Digital transformation of business”

No	Firm	Definitions
1	Hewlett Packard Enterprise	“The process of integrating digital technologies into all aspects of business, requiring fundamental changes in technology, culture, operations, and principles for creating new products and services” <sup>5</sup>
2	Gartner	“Leveraging digital technology and supporting capabilities to build a robust digital business model” <sup>6</sup>
3	IDC (Analyze the future)	“The continuous process of adaptation and management of critical changes in work due to external influences through the use of digital competencies” [9]
4	Boston Consulting Group (BCG)	“Digital transformation is the fullest possible use of the potential of digital technologies in all aspects of business” <sup>7</sup>
5	Forrester	“Achieving operational efficiency and flexibility using digital technologies” [10]

Взвешенный подход реализован в понимании цифровой трансформации бизнеса у Boston Consulting Group (BCG). Они выделяют четыре основные сферы бизнеса, которые должны измениться радикально. В первую очередь должны меняться способы взаимодействия с клиентами, именно количество и качество взаимоотношений станут ценностью, размывающей границы между продуктами и услугами. Следующее преобразование касается

<sup>2</sup> Что такое цифровая трансформация? URL: <https://www.hpe.com/ru/ru/what-is/digital-transformation.html> (дата обращения: 02.08.2021).

<sup>3</sup> Глоссарий Gartner. URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digital-business-transformation> (дата обращения: 02.08.2021).

<sup>4</sup> Digital transformation. URL: <https://www.bcg.com/ru-ru/digital-bcg/digital-transformation/overview.aspx> (accessed: 02.08.2021).

<sup>5</sup> What is digital transformation? (In Russ.) URL: <https://www.hpe.com/ru/ru/what-is/digital-transformation.html> (accessed: 02.08.2021).

<sup>6</sup> Gartner Glossary. (In Russ.) URL: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digital-business-transformation> (accessed: 02.08.2021).

<sup>7</sup> Digital transformation. URL: <https://www.bcg.com/ru-ru/digital-bcg/digital-transformation/overview.aspx> (accessed: 02.08.2021).

роли людей, они не будут заменяться машинами и искусственным интеллектом, а будут создавать новые процессы, что потребует от них новых навыков для творчества и способов организации деятельности. Третья область изменения – это эффективное использование данных, чем быстрее научатся фирмы использовать свои данные для принятия управленческих решений, тем большим конкурентным преимуществом будут обладать. И на последнем месте стоит оцифровка операций и автоматизация процессов. Данный подход вполне реализуем в системе образования.

В работах, посвященных образованию, четкости в формулировках не прослеживается. Цифровая трансформация образования рассматривается как тенденция либо описывается через характеристики или решаемые задачи. Даже при отсутствии общей дефиниции, в описании доминируют технологические аспекты развития и внедрения ИКТ в образовательный процесс. Авторы, описывающие цифровую трансформацию образования, чаще используют понятия «цифровое образование» (М.Е. Вайндорф-Сысоева, А.М. Кондаков, В.Н. Платонов и др.) и «цифровое обучение» (Дж. Берсин, Д. Роджерс и др.) [11].

**Заключение.** Цифровая трансформация изменяет все аспекты жизнедеятельности человека. Необходимо осмысление данного явления для разработки механизмов мониторинга и методов оценки уровня ее сформированности. На основе имеющихся результатов исследований разных авторов проанализированы разные интерпретации понятия «цифровая трансформация» в трех разрезах: философском, культурологическом и аксиологическом. Этих подходов недостаточно для осмысления понятия «цифровая трансформация образования», нужно расширить рамки исследования.

Для понимания цифровой трансформации образования требуется применение антропологического подхода, который использует целостное познание человека в контексте формирования цифровой культуры.

### Список литературы

- [1] Чернышов А.Г. Стратегия и философия цифровизации // Власть. 2018. № 5. С. 13–21.
- [2] Stolterman E., Croon Fors A. Information technology and the good life // Information systems research: relevant theory and informed practice. Boston: Springer, 2004. Pp. 687–692. [https://doi.org/10.1007/1-4020-8095-6\\_45](https://doi.org/10.1007/1-4020-8095-6_45)
- [3] Ахромеева Т.С., Малинецкий Г.Г., Посашков С.А. Смыслы и ценности цифровой реальности: будущее, войны, синергетика // Философские науки. 2017. № 6. С. 104–120.
- [4] Галкин Д.В. Digital Culture: методологические вопросы исследования культурной динамики // Международный журнал исследований культуры. 2012. № 3 (8). С. 11–16.
- [5] Кузнецова Т.Ф. Цифровая культура в свете теоретических основ новой институциональной экономики // Век глобализации. 2019. № 2. С. 111–120.
- [6] Гнатышева Е.В., Саламатов А.А. Цифровизация и формирование цифровой культуры: социальные и образовательные аспекты // Вестник Челябинского государственного педагогического университета. 2017. № 8. С. 19–24.
- [7] Hartl E., Hess Th. The role of cultural values for digital transformation: insights from a Delphi study // Twenty-Third Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2017, August 10–12, 2017, Boston, USA. Boston, 2017.
- [8] Лопатина Н.В. Культура и семья: взаимодействие социальных институтов в условиях информатизации // Вестник Московского государственного университета культуры и искусств. 2012. № 2 (46). С. 47–52.

- [9] Raichle M.E., MacLeod A.M., Snyder A.Z., Powers W.J., Gusnard D.A., Shulman G.L. A default mode of brain function // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001. Vol. 98. Issue 2. Pp. 676–682. <http://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>
- [10] Прохоров А., Коник Л. Цифровая трансформация. Анализ, тренды, мировой опыт. М.: АльянсПринт, 2019. 368 с.
- [11] Вайндорф-Сысоева М.Е., Субочева М.Л. Цифровое образование как системообразующая категория: подходы к определению // *Вестник Московского государственного областного университета*. 2018. № 3. С. 25–36.

### References

- [1] Chernyshov AG. Strategy and philosophy of digitalization. *Vlast'*. 2018;(5):13–21. (In Russ.)
- [2] Stolterman E, Croon Fors A. Information technology and the good life. *Information Systems Research: Relevant Theory and Informed Practice*. Boston: Springer; 2004. p. 687–692. [https://doi.org/10.1007/1-4020-8095-6\\_45](https://doi.org/10.1007/1-4020-8095-6_45)
- [3] Ahromeeva TS, Malineckij GG, Posashkov SA. Meanings and values of digital reality: the future, wars, synergetics. *Russian Journal of Philosophical Sciences*. 2017;(6):104–120. (In Russ.)
- [4] Galkin DV. Digital Culture: methodological issues in the study of cultural dynamics. *International Journal of Cultural Research*. 2012;(3(8)):11–16. (In Russ.)
- [5] Kuznecova TF. Digital culture in the light of the theoretical foundations of the new institutional economy. *Vek Globalizacii*. 2019;(2):111–120. (In Russ.)
- [6] Gnatysheva EV, Salamatov AA. Digitalization and the formation of digital culture: social and educational aspects. *Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University*. 2017;(8):19–24. (In Russ.)
- [7] Hartl E, Hess Th. The role of cultural values for digital transformation: insights from a Delphi study. *Twenty-Third Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2017, August 10–12, 2017, Boston, USA*. Boston; 2017.
- [8] Lopatina NV. Culture and family: interaction of social institutions in the context of informatization. *The Bulletin of Moscow State University of Culture and Arts*. 2012;(2(46)):47–52. (In Russ.)
- [9] Raichle ME, MacLeod AM, Snyder AZ, Powers WJ, Gusnard DA, Shulman GL. A default mode of brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2001;98(2):676–682. <http://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>
- [10] Prohorov A, Konik L. *Digital transformation. Analysis, trends, world experience*. Moscow: Al'yansPrint; 2019. (In Russ.)
- [11] Vajndorf-Sysoeva ME, Subocheva ML. Digital education as a system-forming category: approaches to definition. *Bulletin of Moscow State Regional University*. 2018;(3):25–36. (In Russ.)

### Сведения об авторе:

Шелепаева Альбина Хатмулловна, кандидат педагогических наук, доцент департамента бизнес-информатики, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Российская Федерация, 125993, Москва, Ленинградский пр-т, д. 49. ORCID: 0000-0002-4678-9671. E-mail: akshlepaeva@fa.ru

### Bio note:

Albina Kh. Shelepaeva, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Business Informatics, Financial University under the Government of the Russian Federation, 49 Leningradskii Prospekt, Moscow, 125993, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-4678-9671. E-mail: akshlepaeva@fa.ru



# ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНКЛЮЗИВНОМ ОБРАЗОВАНИИ

## DIGITAL TECHNOLOGY FOR INCLUSION

DOI 10.22363/2312-8631-2022-19-1-29-44

УДК 004.05

Научная статья / Research article

### Исследование доступности веб-сайтов вузов России для лиц с ограничениями по зрению

А.С. Пудич  , М.Г. Гриф , М.А. Бакаев *Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия* [pudichas@gmail.com](mailto:pudichas@gmail.com)

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* В современном мире увеличилась востребованность веб-сайтов вузов. По закону в России на образовательные сайты внедрены версии для слабовидящих. Целью исследования стала оценка (преимущественно автоматическим способом) данных сайтов на предмет доступности и качества версий для слабовидящих, а также выявление лучшего способа реализации таких решений и создания доступных сайтов в целом. *Методология.* Разработана программная система сбора метрик с сайтов в двух версиях: обычной и для слабовидящих. Сравниваются количественные метрики на основе html-кода и визуального анализа скриншотов главных страниц. Показатели получены ручным тестированием. *Результаты.* Изучены данные 571 сайта вузов, представленные в общем доступе. Произведен корреляционный анализ метрик. Сделана оценка качества работоспособности версий для слабовидящих, составлены рекомендации к технической реализации и стандартному набору настроек версий для слабовидящих. Собрана статистика используемых готовых решений, инструментов разработки сайтов. *Заключение.* Выявлены актуальные проблемы в области доступности образовательных сайтов в России, сформулированы предложения по проведению оценки и разработке доступных сайтов. Рекомендации могут использоваться как одна из инструкций для разработки или проверки версий для слабовидящих.

**Ключевые слова:** оценка интерфейсов, визуальный анализ, доступность веб-сайтов, образовательные сайты, рейтинги вузов, слабовидящие, ограниченные возможности

**История статьи:** поступила в редакцию 20 октября 2021 г.; доработана после рецензирования 21 ноября 2021 г.; принята к публикации 22 ноября 2021 г.

**Для цитирования:** Пудич А.С., Гриф М.Г., Бакаев М.А. Исследование доступности веб-сайтов вузов России для лиц с ограничениями по зрению // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2022. Т. 19. № 1. С. 29–44. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-29-44>

© Пудич А.С., Гриф М.Г., Бакаев М.А., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Research of the accessibility of Russian universities websites for persons with visual disabilities

Alexander S. Pudich  , Mikhail G. Grif , Maxim A. Bakaev 

*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

 pudichas@gmail.com

**Abstract.** *Problem statement.* Nowadays the demand for university websites has increased. According to the law, versions for visually impaired have been introduced on educational sites in Russia. The research objective is to evaluate accessibility of sites and quality of versions for visually impaired (mainly in an automatic way), and to identify the best way to implement such solutions and to create accessible sites in general. *Methodology.* A software system for collecting metrics from websites in two versions – a normal and for visually impaired users – has been developed. Quantitative metrics based on the HTML code of homepages and visual analysis of homepages screenshots are compared. Metrics were also received by manual testing. *Results.* Data from 571 universities websites with open access to files was observed. The correlation analysis of metrics was carried out. The quality of versions for visually impaired was assessed, recommendations were made for technical implementation and a standard set of settings for panel of version for visually impaired users. Statistics of used ready-made solutions, as well as website development tools, was collected. *Conclusion.* An idea has appeared about current issues in the field of accessibility of educational sites in Russia, and about what can be used to evaluate and developing of accessible sites. The recommendations can be used as one of the guidelines for developing or checking versions for visually impaired.

**Keywords:** interfaces assessment, visual analysis, website accessibility, educational sites, university rankings, visually impaired, disabilities

**Article history:** received 20 October 2021; revised 21 November 2021; accepted 22 November 2021.

**For citation:** Pudich AS, Grif MG, Bakaev MA. Research of the accessibility of Russian universities websites for persons with visual disabilities. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2022;19(1):29–44. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-29-44>

**Постановка проблемы.** Во время пандемии COVID-19 вводилась дистанционная форма образования, вследствие чего выросло количество обращений к образовательным сайтам. Важно, чтобы такие сайты были доступны для различных категорий лиц (в том числе с временными или постоянными ограничениями) и в различных условиях доступа (мобильный экран, слабая яркость и др.). В данном исследовании речь будет идти о сайтах высших учебных заведений России.

Известно, что образовательные сайты входят в категорию сайтов, где должны быть внедрены версии для слабовидящих (ВДС). Рособнадзор утвердил в 2015 г. перечень тегов микроразметки для официальных сайтов образовательных организаций. В их число входит атрибут `itemprop="Сору"`, по замыслу обрамляющий ссылку на версию официального сайта для слабовидящих. Сейчас у всех сайтов есть ссылка/кнопка переключения на ВДС. В простом случае это применение некоторой логики, включающей на сайте

особый режим, в другом – используются панели для настройки параметров страницы под конкретные нужды пользователя (размер шрифта, контраст, отключение картинок, цветовые схемы и т. д.), либо все вместе.

Встречаются проблемы с работоспособностью такого функционала, а некоторый функционал плохо тестировался и делает только хуже – сайтом становится еще труднее пользоваться. Таким образом, предлагается оценить ВДС сайтов вузов РФ, выявить основные недостатки, собрать некоторую статистику проблем. Будет произведена оценка ВДС относительно субъектов РФ – местонахождения вузов, позиций вузов в актуальных популярных рейтингах и категорий направленности обучения.

**Методология.** *Метрики, полученные на основе анализа кода страниц.* В исследованиях встречается использование руководства по обеспечению доступности веб-контента WCAG для получения количественных метрик по анализу html-кода страниц сайтов. В России в 2007 г. появился ГОСТ Р 52872, а в 2020 г. введена актуализированная редакция, в основе которой лежит документ WCAG 2.1. Данные рекомендации содержат критерии доступности и делят их на принципы:

- perceivable (воспринимаемость);
- operable (управляемость/работоспособность);
- understandable (ясность/понятность);
- robust (надежность/совместимость).

Также каждые критерии имеют свой уровень доступности информации (А, АА, ААА), где минимальный уровень А позволяет ограниченным по зрению обеспечить доступность к интернет-ресурсу без потери информации, непрохождение таких критериев – грубый барьер. Уровень доступности информации АА – включает в себя уровень А. Но не включает ААА, который нам не интересен, автоматический поиск таких барьеров не будет продуктивным: он содержит много не реальных, а потенциальных барьеров. С нарушениями критериев уровня ААА пользователь сможет работать с сайтом, но с меньшим комфортом.

Зачастую в исследованиях используется анализаторы WAVE<sup>1</sup> и Achecker. Барьеры, полученные такими анализаторами, относятся к определенному принципу и уровню доступности, а также имеют свой уровень достоверности: ошибка, предупреждение, потенциальная ошибка (требует полной перепроверки вручную). Мы будем рассматривать только ошибки и предупреждения.

Указанные сервисы имеют платное API либо бесплатный доступ через веб-форму для анализа сайтов вручную. В настоящем исследовании был выбран другой способ. Для сбора WCAG-барьеров (выбран уровень АА) в страницу обрабатываемого сайта инъектится скрипт<sup>2</sup>, или aXe<sup>3</sup>, который собирает нарушения, результат сохраняется в базу данных. JavaScript позволяет считывать примененные к элементам CSS-стили, когда у него есть доступ

<sup>1</sup> WAVE Web Accessibility Evaluation Tool. URL: <https://wave.webaim.org/> (accessed: 25.06.2021).

<sup>2</sup> HTML\_CodeSniffer. URL: [https://squizlabs.github.io/HTML\\_CodeSniffer/](https://squizlabs.github.io/HTML_CodeSniffer/) (accessed: 25.06.2021).

<sup>3</sup> aXe. URL: <https://www.deque.com/axe/> (accessed: 25.06.2021).

к DOM-дереву, а это важно для анализа контраста, видимости элементов, поэтому при выборе логики и языка программирования обработчика страниц учитывался этот фактор. Выбран язык NodeJS, взаимодействие со страницами происходит посредством браузера Chrome в headless режиме. Следовательно, нет сложности в передаче данных между кодом, выполненным в таком браузере и обработчике, запускаящем этот браузер, так же ресурсные затраты минимальные. На выходе с найденными нарушениями сохраняется XPath-путь к элементу в коде, часть окружающего кода, что полезно для разработчика.

*Метрики, полученные на основе анализа скриншотов страниц.* Это метрики, преимущественно полученные на основе проекта AIM (Aalto Interface Metrics)<sup>4</sup>. Известно, что такие метрики имеют корреляцию с визуальной сложностью интерфейсов, эстетичностью, восприятием [1].

Пример таких метрик:

1) объекты:

- количество элементов на интерфейсе;
- количество типов элементов;

2) colour perception (различные аспекты красочности интерфейса и их влияние на восприятие и юзабилити):

- размер в формате PNG (чем больше, тем более цветная картинка);
- количество уникальных цветов в спектрах RGB, HSV, LAB;
- отклонения каналов в HSV (Hue, Saturation, Value – тон, насыщенность, значение – пространство цветов, близкое к человеческой визуальной системе);
- стандартное отклонение яркости цветов (luminance);
- количество статических и динамических цветовых кластеров;

3) perceptual fluency (простота, с которой видимая информация воспринимается эстетически):

- размер изображения в формате JPEG (предполагается, что беспорядочная картинка будет больше размером);
- пиксельная симметрия (оси максимальной симметрии);
- качество сетки (grid);
- пропорции пустого места;
- контраст границы фигур;
- визуальная беспорядочность (clutter).

Для сбора скриншотов также используется Chrome в headless режиме, чтобы осуществить поддержку JavaScript, так как в некоторых случаях скрипты меняют интерфейс сразу после загрузки. Для сбора скриншотов ВДС обрабатывает алгоритм поиска ссылки на такую версию и выполняется «щелчок» по ней.

Некоторые их данных метрик по скриншотам уже использовались в других исследованиях [2; 3]

*Ручное тестирование.* Для оценки реальной работоспособности ВДС произведено ручное тестирование на всех сайтах, включая весь функционал панелей помощи слабовидящим, собрана статистика проблем и внедрения готовых решений. Для сбора информации об инструментах разработки сай-

---

<sup>4</sup> AIM – Aalto Interface Metrics service. URL: <https://interfacemetrics.aalto.fi/> (accessed: 25.06.2021).

тов использован сервис Wappalyzer<sup>5</sup>, чтобы собрать актуальную статистику используемых технологий.

*Автоматический сбор метрик.* Для сбора метрик разработана веб-платформа, позволяющая массово импортировать списки сайтов и страниц из CSV, выбирать и отправлять списки на обработку, просматривать и экспортировать результаты в CSV для дальнейшего анализа. Структура проекта рассчитывалась на возможность горизонтального масштабирования для увеличения скорости обработки, используется Docker.

Обработчики платформы созданы для следующих задач:

- сохранение скриншотов в различных разрешениях;
- сбор метрик HTML CodeSniffer<sup>6</sup> – для получения метрик, сгруппированных по WCAG-принципам;
- сбор метрик aXe<sup>7</sup> – преимущественно метрики контраста и прочие, относящиеся к WCAG, разделу 508 закона США American Workforce Rehabilitation Act, отдельной авторской категории правил лучших практик в индустрии, а также к правилам ACT Rules Community<sup>8</sup> для автоматического тестирования;
- сбор метрик Lighthouse<sup>9</sup> (Desktop, Mobile) – включает оценку доступности;
- сбор метрик AIM – идет обращение по websocket к локальному сервису AIM (собираем только количественные метрики, то есть без метрик, отдающих изображения в base64-формате, для большей стабильности).

Метрики по коду рассмотрены относительно округов, в которых располагаются вузы и их позиций в рейтингах. Например, оценка по округу составлялась среди метрик, полученных из кода по формуле

$$O_i = \sum_j \text{norm}(\text{mean}A - \text{mean}B),$$

где  $i$  – индекс округа;  $j$  – индекс метрики;  $\text{mean}A$  – среднее значение метрики по сайтам в округе (обычной версии сайта);  $\text{mean}B$  – среднее метрики тех же сайтов, но ВДС.

К разнице средних применялась нормализация от 0 до 1, так как она не всегда положительная. Оценка показывает, насколько ВДС улучшает пользование сайтом исходя из метрик по коду.

**Результаты и обсуждение.** В качестве метрик на основе кода страниц выступают количественные показатели найденных барьеров (количество мест с проблемой в коде). Наибольшее количество достоверно найденных ошибок относится к принципу «Восприятия», меньше всего – к принципу «Понятности». Первый влияет на удовлетворенность пользователя, способность

<sup>5</sup> Wappalyzer. URL: <https://www.wappalyzer.com/> (accessed: 25.06.2021).

<sup>6</sup> HTML\_CodeSniffer. URL: [https://squizlabs.github.io/HTML\\_CodeSniffer/](https://squizlabs.github.io/HTML_CodeSniffer/) (accessed: 25.06.2021).

<sup>7</sup> aXe. URL: <https://www.deque.com/axe/> (accessed: 25.06.2021).

<sup>8</sup> ACT Rules Community Group (previously known as Auto-WCAG). URL: <https://act-rules.github.io/pages/about> (accessed: 25.06.2021).

<sup>9</sup> Lighthouse. URL: <https://developers.google.com/web/tools/lighthouse> (accessed: 25.06.2021).

разобраться с содержимым, здесь преобладает легко распознающийся критерий – отсутствие текстовой альтернативы. Второй сложнее обнаружить и требует внедрения дополнительных средств для анализа. Заполнение альтернатив возможно только вручную либо генерируя с помощью искусственного интеллекта и корректируя уже результаты вручную. Появляются продукты, реализующие это<sup>10</sup>, и даже внедряются на сайты вузов (табл. 4).

Что касается метрик из отчетов Lighthouse, оценки доступности сильно коррелируют с метриками aXe ввиду того, что второй инструмент используется для этого внутри первого. Однако Lighthouse не получится использовать для оценки отдельной ВДС, поскольку он перезагружает страницу при старте анализа для измерения времязависимых показателей. Метрики aXe и HTML CodeSniffer между собой немного коррелируют, так как затрагивают одни принципы WCAG.

Между версией для слабовидящих и обычной значения метрик очень слабо отличаются, иногда разница в метриках и вовсе отрицательная, что указывает на ухудшение ВДС относительно обычной версии исходя из html-кода. Поэтому сравнительный анализ проводится на большом наборе данных.

Для улучшения точности к набору применены:

- поиск и исключение дубликатов;
- исключение метрик Lighthouse, так как применение скрипта включения ВДС не применимо к методике анализа данным способом;
- исключены 49 сайтов с отсутствующими данными (пропуски) по каким-либо группам метрик в любой из версий;
- исключены 22 сайта, где программный алгоритм не смог включить ВДС (отсутствует, не работает или неизвестная разметка);
- исключены 13 сайтов с чрезмерно большим количеством ошибок по некоторым метрикам (выбросы).

После обработки данных число оставшихся сайтов – 479.

Первые места по оценкам у Сибирского и Северо-Западного округов (табл. 1, 2). Последние места заняли Центральный и Приволжский округа, хотя они наиболее населены в России.

Таблица 1

**Оценка качества версии для слабовидящих  
на основе метрик кода по округам (по количеству элементов с ошибками)**

Оценка	Сумма средних по метрикам	Оценка / Сумма средних	Округ	Количество сайтов
9,50	349,24	0,0272	Северо-Западный	14 % (67)
9,00	282,69	0,0318	Сибирский	13,4 % (64)
8,27	325,12	0,0254	Дальневосточный	5,2 % (25)
7,37	286,54	0,0257	Уральский	6,9 % (33)
7,24	316,21	0,0229	Центральный	32,6 % (156)
6,56	353,16	0,0186	Южный	5,8 % (28)
5,77	292,04	0,0198	Северо-Кавказский	4,2 % (20)
4,67	317,78	0,0147	Приволжский	18 % (86)

<sup>10</sup> The World's Leading Automated Website Accessibility Solution for ADA & WCAG Compliance. URL: <https://userway.org/> (accessed: 25.06.2021).

Table 1

**Assessment of the quality of version for visually impaired  
based on code metrics by district (by the number of elements with errors)**

Score	Sum of means by metrics	Score / Sum of averages	District	Number of sites
9.50	349.24	0.0272	Northwestern	14% (67)
9.00	282.69	0.0318	Siberian	13.4% (64)
8.27	325.12	0.0254	Far Eastern	5.2% (25)
7.37	286.54	0.0257	Ural	6.9% (33)
7.24	316.21	0.0229	Central	32.6% (156)
6.56	353.16	0.0186	Southern	5.8% (28)
5.77	292.04	0.0198	North Caucasian	4.2% (20)
4.67	317.78	0.0147	Volga	18% (86)

Таблица 2

**Оценка качества версии для слабовидящих  
на основе метрик кода по округам (по количеству типов ошибок)**

Оценка	Сумма средних по метрикам	Оценка / Сумма средних	Округ	Количество сайтов
8,74	27,45	0,3185	Сибирский	13,4 % (64)
8,50	28,06	0,3030	Северо-Западный	14 % (67)
7,77	29,40	0,2641	Уральский	6,9 % (33)
7,77	28,20	0,2753	Северо-Кавказский	4,2 % (20)
7,72	29,16	0,2647	Южный	5,8 % (28)
7,69	29,36	0,2620	Приволжский	18 % (86)
7,04	30,35	0,2319	Дальневосточный	5,2 % (25)
4,04	28,81	0,1401	Центральный	32,6 % (156)

Table 2

**Assessment of the quality of version for visually impaired  
based on code metrics by district (by the number of error types)**

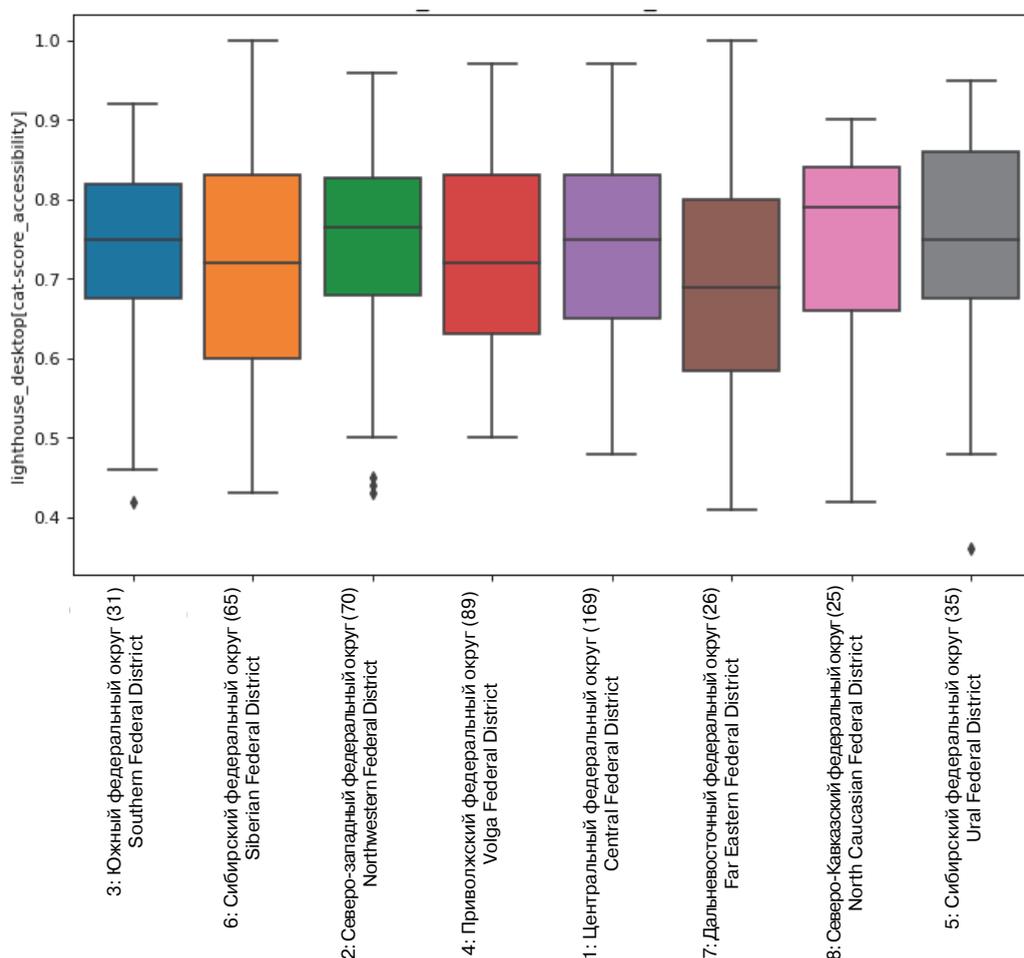
Score	Sum of means by metrics	Score / Sum of averages	District	Number of sites
8.74	27.45	0.3185	Siberian	13.4% (64)
8.50	28.06	0.3030	Northwestern	14% (67)
7.77	29.40	0.2641	Ural	6.9% (33)
7.77	28.20	0.2753	North Caucasian	4.2% (20)
7.72	29.16	0.2647	Southern	5.8% (28)
7.69	29.36	0.2620	Volga	18% (86)
7.04	30.35	0.2319	Far Eastern	5.2% (25)
4.04	28.81	0.1401	Central	32.6% (156)

По версии отчетов Lighthouse с точки зрения оценки доступности сайта в целом (рис. 1), хорошее распределение оценки имеют Северо-Западный и Центральный округа.

Рассмотрена статистика относительно нахождения вуза в различных рейтингах: Times Higher Education (THE) World University Rankings 2022, QS World University Rankings 2022, Forbes Russia 2021, RAEX-A 2021, uniRank in Russia 2021. Рейтинги Forbes и RAEX-A показали сильную привязку к округам (а именно к Центральному, где сосредоточенно много сильных университетов), поэтому они не рассматривались. Ранжирования QS и THE имеют сильную корреляцию между собой, но малое количество представленных

позиций российских вузов в рейтинге. Рейтинг Scimago Institutions Rankings имеет больше позиций, но тоже не рассматривался. Алгоритмы ранжирования представленных выше рейтингов включают такие характеристики вузов, как академическая репутация, отзывы, цитируемость, интернационализация, инновации. Рейтинг uniRank подходит нам по количеству позиций еще больше, но он основан на метриках присутствия в интернете и популярности с точки зрения трафика. Алгоритмы ранжирования включают такие метрики, как MOZ Domain Authority, Alexa Global Rank, SimilarWeb Global Rank, Majestic Trust Flow. Таким образом, рассматриваемый рейтинг зависит от факторов: качество содержания, количество трафика и отказов (быстрое закрытие страницы при заходе), авторитет ссылающихся сайтов, качество SEO, позиция в поисковой выдаче (алгоритмы поисковой выдачи на данный момент учитывают и юзабилити, и скорость работы сайта) и мн. др. Корреляция такого рейтинга с оценками интересна (табл. 3).

С улучшением позиции в рейтинге uniRank заметно проявлялось ухудшение метрик восприятия (из метрик и по коду, и из скриншотов), совместимости, но уменьшается сложность интерфейсов. Также найдена небольшая корреляция оценок Lighthouse PWA и SEO с позициями в рейтингах.



**Рис. 1.** Распределение оценки доступности Lighthouse версии Desktop по округам  
**Figure 1.** Distribution of Lighthouse accessibility in Desktop score by county

Таблица 3

**Оценка качества версии для слабовидящих на основе метрик кода по рейтингу UniRank**

Оценка	Позиция в рейтинге	Количество сайтов
8,05	0–50	47
6,83	100–200	86
6,71	50–100	48
6,70	200–300	79
4,03	300+	232

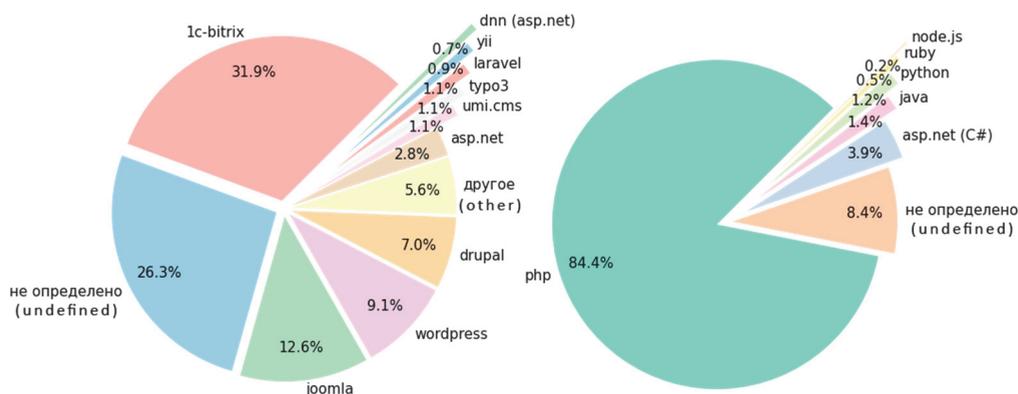
Table 3

**Assessment of the quality of version for visually impaired based on the code metrics according to the UniRank rating**

Score	Rating position	Number of sites
8.05	0–50	47
6.83	100–200	86
6.71	50–100	48
6.70	200–300	79
4.03	300+	232

Собранные метрики на основе скриншотов страниц сами по себе относятся к категории восприятия и слабо коррелируют с метриками восприятия по коду. Из 40 метрик на основе скриншотов страниц улучшение в версии для слабовидящих заметно у половины. Под улучшением здесь понимается приближение в сторону распределений метрик по другим сайтам из топ-500 рейтинга Alexa Rank, которые предоставляет сервис AIM.

В рамках ручного тестирования получена статистика использования инструментов разработки, отраженная на рис. 2. В «другое» здесь входит 19 инструментов, использующихся во всем перечне сайтов 1–3 раза. Процент использования современных JS-фреймворков – 5,8 % (33 сайта).



**Рис. 2.** Круговые диаграммы использования найденных инструментов разработки сайтов вузов и используемых языков программирования

**Figure 2.** Pie diagrams of the use of the found development tools for universities' websites and the programming languages used

Статистика использования готовых решений представлена в табл. 4.

Из всех протестированных сайтов ВДС полностью не работает или отсутствует на 8 % (46 шт.). Далее приведены рекомендации к исправлению

ошибок на сайтах, где ВДС работает, и проценты существующих сейчас проблем исходя из полученной статистики.

Таблица 4

**Распределение внедренных готовых решений  
версий для слабовидящих в сайты вузов РФ**

<b>Решение</b>	<b>Количество внедрений</b>	<b>%</b>
Не определено / уникальное	343	60,82
isvek.ru (bvi)	70	12,41
1С-Bitrix template special-aaVersion	41	7,27
template accessibility (в основном Joomla)	33	5,85
slabovid.ru (1С-Bitrix Мибок)	27	4,79
finevision.ru	12	2,13
lidrekon.ru	11	1,95
Comfortable Reading Plugin (WordPress)	8	1,42
prolexgroup.ru/special	8	1,42
Drupal vi-panel	5	0,89
userway.org	4	0,71
B-accessibility	1	0,18
pojo.me	1	0,18

Table 4

**Distribution of implemented ready-made versions of solutions  
for visually impaired on websites of Russian universities**

<b>Solution</b>	<b>Number of implementations</b>	<b>%</b>
Unknown / unique	343	60.82
isvek.ru (bvi)	70	12.41
1С-Bitrix template special-aaVersion	41	7.27
template accessibility (mostly Joomla)	33	5.85
slabovid.ru (1С-Bitrix Mibok)	27	4.79
finevision.ru	12	2.13
lidrekon.ru	11	1.95
Comfortable Reading Plugin (WordPress)	8	1.42
prolexgroup.ru/special	8	1.42
Drupal vi-panel	5	0.89
userway.org	4	0.71
B-accessibility	1	0.18
pojo.me	1	0.18

**Рекомендации:**

1. Кнопка визуально не теряется в массе других ссылок, может ярко выделяться для ускорения ее нахождения.

2. Кнопка находится в пределах отображаемого экрана, хорошее расположение кнопки – верхняя часть сайта и дублирование в нижней части.

3. Кнопка/ссылка для перехода в ВДС имеет текст «для слабовидящих» либо «для лиц с ограниченными возможностями» и может дополняться общепринятым значком (глаз).

4. Кнопка доступна фокусированием и нажатием с клавиатуры.

5. Кнопка присутствует при любых расширениях экрана, в том числе на мобильных (проблема в 11,6 % случаев).

6. Кнопка присутствует не только на главной странице, но и на других.

7. Масштабирование страницы до 200 % не затрудняет пользование сайтом:  
– не добавляет горизонтальной прокрутки (проблемы в 39 % случаев);  
– не скрывает интерфейс панели настроек ВДС за границами экрана;  
– не искажает верстку;  
– не увеличивает верхнюю часть сайта на половину экрана (это может сократить полезную область вдвое при прокрутке).

8. Имеется панель настроек ВДС (нет на 23 % сайтов).

9. ВДС не искажает верстку (проблема в 30 % случаев).

10. ВДС остается открытой и не меняет настройки при переходе на другие страницы внутри сайта (проблема в 12 % случаев). Здесь учитывается только однодоменные страницы, присутствующие на текущей странице в ВДС.

11. Для изменения размера шрифта в панели настроек ВДС лучше иметь ограниченный набор величин (в 20 % случаев это переключатели увеличить/уменьшить, содержащие 10–14 вариаций, но иногда без ограничений. Это позволяет менять размер текста до уровня невозможности пользования сайтом).

12. Достаточное количество вариаций настроек:

– рабочие размеры шрифта – 3 (выбор есть на 86 % сайтов, в 9,3 % случаев работает некорректно или не работает);

– гарнитуры (шрифт) – 2, с засечками и без них (выбор есть только на 37 % сайтов, шрифт с засечками нужен для людей с дислексией, редко встречается смена толщины шрифта). Основные шрифты – Arial, Times New Roman, Courier. Times New Roman является стандартом для семейства шрифтов с засечками, как Arial для шрифтов без засечек;

– цветовые схемы/палитра – 4 (выбор есть на 81 % сайтов);

– контрастный режим;

– режим отображения изображений (графики) – 3 (выбор есть у 62 % сайтов). Встречаются режимы: изображения включены, отключены, отключены только в новостях, черно-белые;

– междустрочный интервал – 3 (выбор есть у 28 % сайтов);

– межбуквенный интервал (кернинг) – 3 (выбор есть у 43 % сайтов).

13. Контрастный режим может применяться сразу при включении ВДС.

14. Разброс между установленными размерами шрифта или интервалов не должен быть очень большим (кратным 2 и более раз).

15. При изменении размера шрифта автоматически соблюдается оптимальный междустрочный интервал.

16. Изменение цветовой схемы применяется ко всей странице, а не только к ее незначительным частям (проблема в 16,2 % случаев).

17. При изменении режима отображения изображений сохраняются размеры самих изображений (проблема у isvek v1.0.6), а при их отключении – остаются текстовые альтернативы идентичной смысловой нагрузки (проблемы в 26,5 % случаев).

18. Закрытие панели настроек работоспособно (проблема в 11,2 %, в основном у решений Joomla template accessibility), в том числе на экранах шириной 768 (iPad) и ниже.

19. Повторное открытие ВДС после закрытия работоспособно.

20. Настройки ВДС работают в модальных (всплывающих) окнах.

21. В ВДС не теряется контент, присутствующий в обычной версии (проблема в 17 % случаев).

22. Использовать типовой набор цветовых схем – стандартный (черным по белому), контрастный (черным по белому с выделениями), инверсия (белым по черному), комфортный (коричневым по бежевому), синий (темно-синим по голубому), коричневый (зеленым по темно-коричневому). Иногда встречается разделение цветовых схем на настройки цветов фона и фильтры текста (например, сепия, контрастность, градации серого). Но сочетание данных настроек не всегда предсказуемо. Можно использовать набор схем с соответствующими названиями под различные нарушения (единственный сайт, где встретились такие названия – РосНОУ) – протанопия, дейтеранопия, тританопия, монохромазия. Симулировать то, как сайт видят люди с такими нарушениями, можно с помощью Chrome DevTools в разделе *Rendering/Emulate vision deficiencies*.

В соответствии с рекомендациями и полученной статистикой произведена оценка версий для слабовидящих на основе ручного тестирования работоспособности ВДС. По каждому условию сайту начислялось некоторое количество баллов за прохождение, в зависимости от критичности проблем.

Первые места по оценкам фактической работоспособности ВДС у Сибирского и Центрального округов, последнее – у Северо-Кавказского (табл. 5). Первые места по оценкам среди категорий направленности обучения у технических и транспортных вузов (табл. 6). Относительно позиций в рейтинге uniRank (табл. 7) – у вузов с первых позиций оценка выше, более качественно разработаны версии для слабовидящих.

Также проанализированы корреляции оценки, полученной из ручных тестов с метриками, полученными автоматически: наблюдалась слабая корреляция с метриками WCAG – Robust Errors, aXe – Incomplete Serious, оценками мобильных отчетов Lighthouse – Best practices, Accessibility. Сильная корреляция с оценками Lighthouse – PWA, SEO, некоторое влияние на это оказал показатель наличия горизонтальной прокрутки.

Таблица 5

Table 5

Оценка работоспособности версии для слабовидящих на основе ручного тестирования по округам		Evaluation of the performance of version for visually impaired based on manual testing by districts	
Оценка	Округ	Score	District
35,42	Сибирский	35.42	Siberian
34,78	Центральный	34.78	Central
34,55	Уральский	34.55	Ural
33,47	Приволжский	33.47	Volga
33,35	Южный	33.35	Southern
32,93	Дальневосточный	32.93	Fat Eastern
32,69	Северо-Западный	32.69	Northwestern
29,76	Северо-Кавказский	29.76	North Caucasian

Таблица 6

**Оценка работоспособности версии для слабовидящих на основе ручного тестирования по категориям направлений вузов**

Категория	Количество сайтов	Оценка
Транспорт	19	36,53
Специальное техническое / технологическое	71	35,32
Общее техническое	34	35,24
Гуманитарное	138	34,25
Искусство и культура	65	33,92
Общее	101	33,82
Архитектурное	14	33,79
Спорт	17	33,35
Остальное	2	33,00
Медицинское	51	31,94
Аграрное	46	31,85
Государственные структуры	13	30,85

Table 6

**Evaluation of the performance of version for visually impaired based on manual testing by categories of directions of universities**

Category	Number of sites	Score
Transport	19	36.53
Special technical / technological	71	35.32
General technical	34	35.24
Humanitarian	138	34.25
Art and culture	65	33.92
General	101	33.82
Architectural	14	33.79
Sport	17	33.35
Remain	2	33.00
Medical	51	31.94
Agrarian	46	31.85
State structures	13	30.85

Таблица 7

**Оценка работоспособности версии для слабовидящих на основе ручного тестирования по позициям в рейтинге uniRank**

Оценка	Позиция в рейтинге	Количество сайтов
35,00	0–50	50
34,86	50–100	50
34,76	100–200	100
33,40	300+	283
33,25	200–300	88

Table 7

**Evaluation of the performance of version for visually impaired based on manual testing by positions in the uniRank rating**

Score	Rating position	Number of sites
35.00	0–50	50
34.86	50–100	50
34.76	100–200	100
33.40	300+	283
33.25	200–300	88

*Дальнейшие этапы исследования.* Готовых решений ВДС для сайтов много, но нет полностью работоспособного, универсального, всегда нужны корректировки разработчиками. Для создания действительно удобных доступных сайтов необходимо много действий от разработчиков интерфейсов: основное здесь – использовать семантическую разметку HTML5, дополняя код ролями и атрибутами ARIA по необходимости<sup>11</sup>. Для сайтов, использующих такую разметку в полной мере, предлагается создать инструмент, преобразующий текущий интерфейс в любой другой, в том числе и в версию для слабовидящих, исходя из личных предпочтений пользователя. Инструмент будет работать подобно тому, как текущие вспомогательные инструменты основываются на дереве доступности<sup>12</sup>. Однако на данный момент среди разработчиков интерфейсов непопулярно внедрение таких технологий поддержки доступности, хотя инструменты для проверок кода интерфейсов с точки зрения доступности уже есть, что доказано разработанной системой сбора метрик с рекомендациями по исправлению ошибок. К тому же пример сайтов вузов РФ демонстрирует большой процент использования систем (более 60 % сайтов используют известные системы управления контентом, см. рис. 2), где возможна установка расширений, зависящих от сторонних разработчиков, что добавляет сложность внедрения поддержки доступности своими силами. Для таких случаев предлагается разработать спецификации к специальному конфигурационному файлу, отвечающему за указания селекторов доступа к элементам определенных семантических ролей, которые не получается определить автоматически. Файл может добавляться на сайт по технологии, аналогичной файлу `site.webmanifest` для PWA (Progressive Web Apps) или `robots.txt` для роботов.

Для оценки значимости метрик, полученных автоматически, не хватает зависимых переменных в виде оценок реального использования целевой группой лиц с разных точек зрения. Для этого есть варианты: можно сформировать задачи на краудсорсинге, привлечь экспертов или целевую категорию пользователей и провести анкетирование. Рассматривается вовлечение слабовидящих пользователей в тестирование интерфейсов с установкой системы отслеживания движения глаз (*eye-tracking*), активно применяющейся в [4]. Таким образом будут получены выходные метрики, например количество саккадов (перемещений взгляда по экрану), фиксаций (концентрации внимания).

**Заключение.** Собраны метрики для главных страниц 479 (из 571) сайтов, для каждой собрано метрик на основе кода – 30, на основе визуального анализа – 40, по два Lighthouse-отчета – мобильной версии и для ПК (19 метрик на отчет). Показателей ручного тестирования – 20 для каждого сайта, выявлены внедренные готовые решения ВДС. Определены инструменты разработки с помощью Wappalyzer. Рассмотрены корреляции между метриками,

---

<sup>11</sup> IT Accessibility Checklist. Accessible Technology. URL: <https://www.washington.edu/accessibility/checklist/> (accessed: 25.11.2021).

<sup>12</sup> Ben Myers The Accessibility Tree. 2019. URL: <https://blog.benmyers.dev/accessibility-tree/> (accessed: 25.11.2021); Core Accessibility API Mappings 1.1 // W3C Recommendation. 2017. URL: <https://www.w3.org/TR/core-aam-1.1/> (accessed: 25.11.2021).

полученными разными способами. Разработанная система сбора метрик выдает и рекомендации на основе кода: ошибку, место присутствия, способ исправления.

Проведено сравнение двух версий сайтов – обычной и для слабовидящих. С теоретической стороны, ВДС не предполагает каких-то исправляющих изменений в коде онлайн, по нажатию на кнопку, а предлагает инструмент для управления настройками визуального восприятия сайта. С практической стороны – разница в значениях метрик между версиями есть, но очень маленькая, все атрибуты кода, предназначенные для поддержки доступности, обычно внедрены в код изначально. Для настроек визуального восприятия содержимого исходя из тестирования предлагаются рекомендации к стандартному набору настроек и техническим моментам, на которые нужно обратить внимание. Проведен анализ полученных оценок относительно округов (субъектов РФ), в котором находится вуз, различных популярных рейтингов вузов, категорий специальностей обучения. Все полученные метрики, а также весь собранный входной список исследуемых сайтов с данными о позициях в рейтингах и принадлежности к субъектам РФ, файлы анализа .ipynb представлены в свободном доступе по ссылке<sup>13</sup>. Приветствуется использование, поддержка, расширение исследования.

### Список литературы

- [1] Пудич А.С. Оценка качества графических веб-интерфейсов на основе визуального анализа // Перспективные научные исследования: опыт, проблемы и перспективы развития: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции (17 июня 2019 г., Уфа): в 2 ч. Уфа: НИЦ Вестник науки, 2019. Ч. 1. С. 131–136.
- [2] Bakaev M., Heil S., Khvorostov V., Gaedke M. HCI vision for automated analysis and mining of web user interfaces // *Web Engineering. ICWE 2018* / ed. by T. Mikkonen, R. Klamma, J. Hernández. Cham: Springer, 2018. Pp. 136–144. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91662-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91662-0_10)
- [3] Nacheva R., Bakaev M. Elder users' experience evaluation of Bulgarian and Russian e-government websites // *Economic Science, Education and the Real Economy: Development and Interactions in the Digital Age*. 2020. № 1. С. 141–152.
- [4] Guo F., Jiahao C., Li M. Effects of visual complexity on user search behavior and satisfaction: an eye-tracking study of mobile news apps // *Universal Access in the Information Society*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10209-021-00815-1>

### References

- [1] Pudich AS. Evaluation of the quality of graphical web interfaces based on visual analysis. *Promising Scientific Research: Experience, Problems and Prospects of Development*. 2019;(1):131–136. (In Russ.)
- [2] Bakaev M, Heil S, Khvorostov V, Gaedke M. HCI vision for automated analysis and mining of web user interfaces. In: Mikkonen T, Klamma R, Hernández J. (eds) *Web Engineering. ICWE 2018*. Cham: Springer; 2018. p. 136–144. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91662-0\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91662-0_10)

---

<sup>13</sup> Данные и файлы исследования доступности сайтов ВУЗов РФ, версии для слабовидящих. 2021. URL: <https://github.com/linkuha/study-russian-universities-for-visually-impaired> (дата обращения: 25.11.2021).

- [3] Nacheva R, Bakaev M. Elder users' experience evaluation of Bulgarian and Russian e-government websites. *Economic Science, Education and the Real Economy: Development and Interactions in the Digital Age*. 2020;(1):141–152.
- [4] Guo F, Jiahao C, Li M. Effects of visual complexity on user search behavior and satisfaction: an eye-tracking study of mobile news apps. *Universal Access in the Information Society*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10209-021-00815-1>

**Сведения об авторах:**

*Пудич Александр Сергеевич*, аспирант Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация, 630073, Новосибирск, пр-кт Карла Маркса, д. 20. ORCID: 0000-0001-7918-7178. E-mail: pudichas@gmail.com

*Гриф Михаил Геннадьевич*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры автоматизированных систем управления, факультет автоматики и вычислительной техники, Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация, 630073, Новосибирск, пр-кт Карла Маркса, д. 20. ORCID: 0000-0003-3016-3647. E-mail: grifmg@mail.ru

*Бакаев Максим Александрович*, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем управления, факультет автоматики и вычислительной техники, Новосибирский государственный технический университет, Российская Федерация, 630073, Новосибирск, пр-кт Карла Маркса, д. 20. ORCID: 0000-0002-1889-0692. E-mail: bakaev@corp.nstu.ru

**Bio notes:**

*Alexander S. Pudich*, postgraduate student, Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-7918-7178. E-mail: pudichas@gmail.com

*Mikhail G. Grif*, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems, Faculty of Automation and Computer Engineering, Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-3016-3647. E-mail: grifmg@mail.ru

*Maxim A. Bakaev*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automated Control Systems, Faculty of Automation and Computer Engineering, Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt Karla Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1889-0692. E-mail: bakaev@corp.nstu.ru



## ПЕДАГОГИКА И ДИДАКТИКА ИНФОРМАТИЗАЦИИ PEDAGOGY AND DIDACTICS IN INFORMATIZATION

DOI 10.22363/2312-8631-2022-19-1-45-53

UDC 373

Research article / Научная статья

### Constatation of the teachers' competence areas in general education

Aliona Afanas

*Institute of Pedagogical Sciences, Chisinau, Moldova*✉ [afanasaliona.ise@gmail.com](mailto:afanasaliona.ise@gmail.com)

**Abstract.** *Problem statement.* The article presents experimental data on the teachers' competence areas. *Methodology.* The investigative approach of the continuous professional training was based on a complex, applied research strategy that combines both quantitative and qualitative methods of investigation. *Results.* The conducted analysis identified teachers' competence areas in continuous professional training such as relational competence, teaching-learning competence, managerial competence, design and planning competence, specialized cognitive competence, and evaluation and monitoring competence. The article presents experimental data of the pedagogical experiment conducted with 888 subjects divided into two samples: the training sample (441 subjects) and the control sample (447 subjects). *Conclusion.* The framework for assessing teachers' competence areas served as a basis for identifying teachers' competence areas, which contains the following components: evaluation criteria, performance levels, performance indicators, degree of evaluation and descriptors.

**Keywords:** competence, competence areas, experimental sample, descriptors, teachers

**Acknowledgements and Funding.** The research was carried out within the framework of the study "Theory and Praxiology of Continuing Professional Education of Teachers."

**Article history:** received 7 October 2021; revised 15 November 2021; accepted 20 November 2021.

**For citation:** Afanas A. Constatation of the teachers' competence areas in general education. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2022;19(1):45–53. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-45-53>

### Определение сфер компетенции учителей общего образования

А. Афанас

*Институт педагогических наук, Кишинев, Молдавия*✉ [afanasaliona.ise@gmail.com](mailto:afanasaliona.ise@gmail.com)

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* Представлены экспериментальные данные по областям компетенции учителей. *Методология.* Исследовательский подход к непрерывному профессиональному обучению основан на комплексной прикладной исследо-

© Afanas A., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

вательской стратегии, сочетающей как количественные, так и качественные методы исследования. *Результаты.* Анализ позволил определить области компетенции учителей в непрерывном профессиональном обучении: реляционная компетенция, преподавательско-учебная компетенция, управленческая компетенция, компетенция в области проектирования и планирования, специализированная когнитивная компетенция, компетенция в области оценки и мониторинга. Приведены экспериментальные данные на этапе поиска педагогического эксперимента, в котором участвовало 888 человек, разделенных на две выборки: обучающая (441 человек) и контрольная (447 человек). *Заключение.* Предложенная система оценки, послужившая основой для определения областей компетенции учителей, содержит следующие компоненты: критерии оценки, уровни успеваемости, показатели успеха, степень оценки и дескрипторы.

**Ключевые слова:** компетенция, области компетенции, экспериментальная выборка, дескрипторы, учителя

**Благодарности и финансирование.** Работа выполнена в рамках исследования «Теория и праксиология непрерывного профессионального образования учителей».

**История статьи:** поступила в редакцию 7 октября 2021 г.; доработана после рецензирования 15 ноября 2021 г.; принята к публикации 20 ноября 2021 г.

**Для цитирования:** Afanas A. Constataion of the teachers' competence areas in general education // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2022. Т. 19. № 1. С. 45–53. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-45-53>

**Problem statement.** The problematics of the evolution of the competence concept is treated by several authors at the international level [1–9] and at the national level [10–20].

The concept of *competence* is the subject of several approaches which depend on the field it evokes. Thus, we can synthesize a definition of competence: competence is the result of the complete processing of a situation, conducted by a person or a group of people in a given context [2]. Competence is the result of a dynamic process, is specific to a situation and can be adapted to other situations. Ph. Jonnaert mentions that a competence is defined by: a *context*; a *person* or a *group of people*; a *situational framework*: a situation and its situations family; a *sphere of experiences* previously lived by a person or a group of people; an *action framework*: categories of actions including a number of actions performed by one or more people in this situation; a *resource framework*: resources used to develop competence; an *evaluation framework*: results obtained, transformations observed in the given situation and in people under concern; and criteria that allow to state that the processing of the situation is complete, successful and socially acceptable [2].

M.-D. Bocoş, R. Răduţ-Taciu, C. Stan, O. Chiş and D.-C. Andronache [21] consider competence as an individual or collective characteristics to select, mobilize, combine efficiently, in a given context, an integrated set of knowledge, skills and attitudes.

Analyzing the psycho-pedagogical competence, C. Oprea emphasizes that the future teacher must have other competencies, such as: energizing competence (the ability to make students want to get involved in the activity), empathic, ludic competence (the ability to respond to students' play by game), organizational, interrelational competences; all having the possibility to (self) form and (self) develop at the system level [22].

The European Center for the Development of Vocational Training (French-language school boards in collaboration with the French-language education policies and programs branch of the Ontario Ministry of Education, 2014) associates the English term *skill* with professional abilities and capacities, and defines it as having the ability to perform tasks and solve problems. On the other hand, the term *competence* is defined as an ability to implement learning outcomes in an appropriate manner in a defined context (education, activity, professional development, personal development).

**Methodology.** Methods and tools used in the pedagogical experiment: the investigative approach of the continuous professional training was based on a complex, applied research strategy that combines both quantitative and qualitative methods of investigation.

*Documentary analysis.* The analysis of the documents had the following objectives: collection of the information regarding continuous professional training in the Republic of Moldova; ordering the obtained information and compiling a database; the analysis of the data regarding the continuous professional training and the formulation of some research hypotheses.

*Questionnaire survey.* The main information requested through the teachers'/managers' questionnaire concerned the following aspects:

- teacher training needs regarding the development of competence areas;
- sources of information on teachers' competencies development;
- the impact of continuous professional training on teachers' competencies development;
- teachers' recommendations on the improvement of the continuous professional training process and of the competencies developed within the continuous professional training, etc.

**Results and discussion.** The pedagogical experiment was conducted within 2019–2020 period: training sample in 2019–2020 (441 subjects), the control/validation experiment in 2019–2020 (447 subjects), a total of 888 people (teachers, school directors, instructive deputy directors, education deputy directors), during the mixed continuous professional training system: face to face, online and remotely. The selected groups' component is representative to our experiment objectives. The selected groups are quite inhomogeneous in terms of professional experience, teaching degree qualification, age, specialty, but the main criterion was that, absolutely all teachers have developed competencies to provide qualitative educational services.

The analysis of the theoretical studies allowed the establishment of the following main areas of teachers' competencies, identifying themselves via the following competencies<sup>1</sup>:

- *managerial competence*: planning, organizing, implementing and monitoring educational and normative policy documents;

---

<sup>1</sup> French-language School Boards in Collaboration with the French-language Education Policy and Programs Branch of the Ontario Ministry of Education. Digital Pedagogy in Action. Foundation Paper for Ontario's French-Language Schools and School Boards and Digital Pedagogy in Action. Review of Writings and Virtual Interviews. 2014. Available from: <https://pedagogienumeriqueenaction.cforp.ca> (accessed: 07.09.2021).

- *relational competence*: developing the fairness-based constructive relationships;
- *teaching-learning competence*: capitalizing on curricular, extracurricular and out-of-school learning opportunities;
- *design and planning competence*: formulation of learning objectives for the subject taught and for the extracurricular and out-of-school activities;
- *specialized cognitive competence*: curriculum design, planning and implementation within the educational process;
- *evaluation and monitoring competence*: establishing the specific evaluation criteria used within the taught discipline/planned activities and their implementation in the educational process.

Each area of competence contains a number of performance descriptors, presented via affirmative statements needed to be achieved in case of a good professional activity. Quality indicators can help us assess the extent to which teachers and school directors meet the school goals through the competencies they possess.

***Basic descriptors of teacher competencies (Ds):***

*The logic of the answer (Ds1)* aims at understanding, penetrating the meaning; at the ability to think and order the answers in a coherent form, of the phenomena, actions and activities which are required based on the formulated items. The exposure logic of some events indicates, in fact, the correlation of the actions that follow the experimental subjects in the professional activity, which contributes to a coherent activity and the achievement of the expected results.

*The meaning of the answer (Ds2)* refers to the semantic content of the proposed statements through the ability of experimental subjects to provide concrete meanings, valuable to the operated phenomena, activities and actions; of noticing the denotative meaning and the subsequent evolution of the targeted phenomena. The answer meaning denotes the teachers'/managers' professional training regarding their field of activity.

*The relevance of the answer (Ds3)* represents the significance, the importance of the expressed opinions, the highlighting of the possibilities to be implemented in the professional activity and their impact in the institutional and personal development of teachers. The relevance of the answer refers to the analysis, selection, structuring, organization, processing, synthesis and interpretation of the requested information.

*The depth of the answer (Ds4)* represents the ability to judge and understand things in essence, in their depth; it refers to the appreciation and issuance of the value judgments related to the topic under concern, the subjects' penetration in the problem essence and the need to decide in relation to this problem, action, etc. The depth of the answer aims at the things' thorough analysis which is necessary for the teachers'/managers' activity.

*The originality of the answer/ideas (Ds5)* as a descriptor, represents the ability to offer unique, new, special answers compared to other answers; the elaboration of other answers' variants than the proposed ones; the teacher's reflection on the existing facts and their direction towards obtaining professional performances.

Also, the Reference for the Assessment of Teachers' Competence Areas was developed (Table 1) and served as a basis for identifying teachers' competence

areas, focused on evaluation criteria, performance levels, performance indicators, evaluation degree and descriptors. Table 2 presents the synthesis of the two samples' pedagogical experiment results: the training sample and the control sample.

Table 1

Framework for assessing the teachers' competence areas

Evaluation criteria	Performance levels	Performance indicators	Evaluation degree, %	Descriptors
<p>1. Ability to develop fairness-based constructive relationships with colleagues.</p> <p>2. Ability to capitalize on curricular, extracurricular and out-of-school learning opportunities in the educational process.</p> <p>3. Ability to plan, organize, implement and monitor educational and normative policy documents in the educational institution.</p>	<i>Excellent (I)</i>	<p>Excellent:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– the subjects present excellent answers, with logical and relevant arguments for the educational institution, in relation to the formulated items;</li> <li>– subjects present at the international and national level the level of their involvement in various professional activities/projects;</li> <li>– the subjects demonstrate the implementation of the educational and normative policy documents focused on the legislative framework improvement, with the perspective of developing and implementing practices promoted within the institution</li> </ul>	100–90	<p>1. The logic of the answer.</p> <p>2. The meaning of the answer.</p> <p>3. The relevance of the answer.</p> <p>4. The depth of the answer.</p> <p>5. The originality of the answer/ ideas</p>
<p>4. Ability to formulate learning objectives for the subject taught, and for the extracurricular and out-of-school activities.</p> <p>5. Ability to design, plan and implement the curriculum in the educational process.</p> <p>6. The ability to establish the specific evaluation criteria used in the taught discipline/planned activities and their implementation in the educational process</p>	<i>Very well (II)</i>	<p>Strong points:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– the subjects present correct, logical, deep, original, relevant answers, they understand the meaning of the notions that need to be defined in relation to the formulated items;</li> <li>– subjects present evidence of answers through concrete examples from professional activity;</li> <li>– the subjects demonstrate the implementation of the required documents and present successful practices in the educational institution</li> </ul>	89–70	
	<i>Good (III)</i>	<p>Aspects that could be improved:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– the subjects present more difficult the correct, logical, deep, relevant answers, they present some gaps in the meaning of the notions that need to be defined in relation to the formulated items;</li> <li>– subjects present inaccurate evidence of answers through concrete examples from professional activity;</li> <li>– the subjects demonstrate with difficulty the implementation of the required documents and present successful practices in the educational institution</li> </ul>	69–51	

Table 1, ending

Evaluation criteria	Performance levels	Performance indicators	Evaluation degree, %	Descriptors
	Weak (IV)	Weaknesses: – subjects present weak, irrelevant answers, without having a logic in formulating their answers, which hinders the answers' quality; – they are not so deep, original, they present some gaps in the meaning of the notions that need to be defined in relation to the formulated items; – the subjects partially present evidence of the answers through concrete examples from the professional activity, which constrains the general quality of the presented experiences; – the subjects demonstrate the implementation of the required documents and present successful practices in the educational institution with significant gaps	50–25	
	Unsatisfactory (V)	Major weaknesses: – the subjects present very weak answers, without having a logic in the formulation of the answers, the depth, originality and relevance of the answers are missing, they present significant gaps in relation to the formulated items; – the subjects do not present evidence of answers through concrete examples from professional activity; – the subjects insufficiently demonstrate the implementation of the requested documents and do not present successful practices in the educational institution; – the subjects refuse to respond to formulated items	Less than 25	

As a result of the *relational competence* experimental data analysis, we mention that the research samples are selected, per general, homogeneously and the identified level is framed at the same performance levels.

As a result of the *teaching-learning competence* data analysis, we mention that the research samples are selected, per general, homogeneously and the identified level is framed at the same levels of performance. According to the performance levels established in our research, there is an *insignificant difference* in the criterion of *analyzing the impact of provided feedback to students*; and of *guiding students how to improve their school performance* for training sample reached a good level – 51.47% (227 subjects), and for control sample is at the poor level – 50.33% (225 subjects).

As a result of the analysis of the data on *managerial competence*, we mention that the research samples are selected, per general, homogeneously and the level of identified level is framed at the same levels of performance.

As a result of the analysis of the data regarding *the design and planning competence*, we mention that the research samples are selected, per general, homogeneously and the identified level is framed at the same levels of performance.

As a result of the analysis of the data regarding *the specialized cognitive competence*, we mention that the research samples are selected, per general, homogeneously and the identified level is framed at the same levels of performance.

As a result of the analysis of the data regarding *the evaluation and monitoring competence*, we mention that the research samples are selected, per general, homogeneously and the identified level is framed at the same performance levels.

Table 2

The experiment results: training sample and control sample

Teachers' competencies	Training sample, 441 subjects, %	Control sample, 447 subjects, %
Relationship competence	68.02	58.16
Managerial competence	24.48	23.93
Teaching-learning competence	68.02	64.87
Design and planning competence	65.99	60.17
Specialized cognitive competence	68.03	60.62
Evaluation and monitoring competence	43.31	44.74

During the constative experiment, the subjects were asked what competencies they developed within the professional activities in the educational institution. Based on the answers' analysis, we conclude the following two samples' results: the training sample (TS) and the control sample (CS) for each competence (Table 2).

**Conclusion.** The implementation of specific directions of educational services in the context of standards of teachers' professional competencies highlighted the following aspects: out of the five priority areas of the educational system such as didactic design, learning environment, educational process, professional development and educational partnerships, the first three areas represent a landmark for the long-/short-term design of the classroom lessons' organization and development. The professional development aims at teacher's performance, and the field of educational partnerships aims at the collaboration of the institution and teachers with various partners (similar institutions, NGOs, local public administration, various educational centers, etc.). The standards' implementation in the educational process aims at the development of professional competencies, in connection with the educational system requirements at the national and international level. Also, based on the standards, the educational institutions efficiently organize the process of teachers' evaluation, of their professional development and career advancement. In this context, we mention the need to implement the activities of

training professional competence in order to increase the quality of the educational process, thus emphasizing the role of educational services and purposes in continuous professional training.

The concept of professional competence, which is fundamental in the formation of a teacher and in achieving school results in the educational system, is analyzed in pedagogical, andragogical, sociological and psychological research. Through this research, we conclude that the study is a fundamental landmark in the pedagogical capitalization of the continuous professional training of teacher competencies.

The advantages of the teachers' competence areas approach allow establishing relationships between concepts, phenomena, and principles; leading to a reconfiguration of the continuous professional training, namely teachers' continuous training, focused on areas of competence not only for school subjects or curricular areas.

Experimental data regarding the teachers' competencies approach cover the following areas of competence: relational competence, teaching-learning competence, managerial competence, design and planning competence, specialized cognitive competence, evaluation and monitoring competence. Thus, the process of continuous professional training must aim at teachers' continuous professional training which will derive from these competencies. Also, it should focus more on solving the problems occurring in the teacher training system and less on carrying it out based on school subjects or based on the field of teachers' initial professional training.

## References

- [1] Bron A, Schemman M. (eds.) *Social science theories in adult education research*. Munster: LIT; 2002.
- [2] Jonnaert Ph, Ettayebi M, Defise R. *Curriculum and competencies: an operational framework*. Cluj-Napoca: ASCR Publishing House; 2010.
- [3] Jablin FM, Putnam LL. *The new handbook of organizational communication*. Thousand Oaks: Sage Publications Inc.; 2001.
- [4] Roegiers X. *From knowledge to competence*. Brussels: PIE Peter Lang; 2017.
- [5] Ciolan L. *Integrated learning. Fundamentals for a transdisciplinary curriculum*. Iasi: Polirom Publishing House; 2008.
- [6] Şoitu L. *Communication pedagogy*. Bucharest: Didactic and Pedagogical Publishing House; 1997.
- [7] Pânişoară IO. *Successful teacher: 59 principles of practical pedagogy*. Iasi: Polirom Publishing House; 2015.
- [8] Leontiev AN. *Activity. Consciousness. Personality*. Moscow: Meaning, Academy. 2005. (In Russ.)  
*Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность*. М.: Смысл; Академия, 2005. 352 с.
- [9] Sergienko AYu. Comparative analysis of teacher's professional standards in Russia and abroad. *Man and Education*. 2019;(4(57)):184–191. (In Russ.)  
*Сергиенко А.Ю. Сравнительный анализ профессиональных стандартов учителей в России и за рубежом // Человек и образование*. 2019. № 4 (57). С. 184–191.
- [10] Pâslaru VI. *Competences of pedagogues: interpretations*. Chisinau: Continental Group; 2014.

- [11] Callo T. *Practical pedagogy of attitudes*. Chisinau: Litera Editorial Group Publishing House; 2014.
- [12] Sadovei L. *Didactic Communication competence: theoretical landmarks and methodology*. Chisinau: UPS 'Ion Creanga'; 2008.
- [13] Garștea N. *Training professional skills of pedagogical students in the context of new education*. Chisinau: Garomond Studio SRL; 2009.
- [14] Goraș-Postică V. Exchange of experience and best practices in Finnish teacher-centered and student-centered education. *Revista Didactica Pro. Journal of Educational Theory and Practice*. 2018;2(108):9–13.
- [15] Gremalschi A. *Training key competences in general education: challenges and constraints*. Chisinau; 2015.
- [16] Hadîrcă M. *Communication competence: conceptualization, training, evaluation*. Chisinau: IȘE; 2020.
- [17] Isac Ș. *Pedagogical diagnosis of the level of teachers' professionalization*. Chisinau: Print-Caro Publishing House; 2020.
- [18] Achiri I. Assessment of school competencies in the Republic of Moldova: strategic aspects. *Revista Didactica Pro. Journal of Educational Theory and Practice*. 2012;5–6 (75–76):11–15.
- [19] Achiri I, Bolboceanu A, Guțu VI, Hadârcă M. *Evaluation of educational standards. Methodological Guide*. Chisinau; 2009.
- [20] Achiri I, Neagu M. *Evaluation of the designed school curriculum: methodological guide*. Iasi: PIM; 2008.
- [21] Bocoș M., Răduț-Taciu R., Stan C. *Praxiological Dictionary of Pedagogy* (vol. III, I–L). Pitesti: Paralela 45 Publishing House; 2017.
- [22] Oprea C. *Interactive didactic strategies*. Bucharest: Didactic and Pedagogical Publishing House; 2006.

**Bio note:**

*Aliona Afanas*, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Psychopedagogy and Education Management, Institute of Pedagogical Sciences, 104 Doina St, Chisinau, MD – 2059, Republic of Moldova. ORCID: 0000-0001-6369-0940. E-mail: [afanasaliona.ise@gmail.com](mailto:afanasaliona.ise@gmail.com)

**Сведения об авторе:**

*Афанас Алёна*, кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой психопедагогика и управления образованием, Институт педагогических наук, Республика Молдова, МД – 2059, Кишинев, ул. Дойна, д. 104. ORCID: 0000-0001-6369-0940. E-mail: [afanasaliona.ise@gmail.com](mailto:afanasaliona.ise@gmail.com)



# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ НА РАЗВИТИЕ ОБРАЗОВАНИЯ

## EVOLUTION OF TEACHING AND LEARNING THROUGH TECHNOLOGY

DOI 10.22363/2312-8631-2022-19-1-54-61

UDC 378

Research article / Научная статья

### Development of students' scientific knowledge on computer modeling while teaching inverse problems for differential equations

Viktor S. Kornilov 

Moscow City University, Moscow, Russia

✉ [vs\\_kornilov@mail.ru](mailto:vs_kornilov@mail.ru)

**Abstract.** *Problem statement.* Currently, the higher school provides students of physical and mathematical training areas with fundamental subject knowledge, forms professional competencies, develops creative abilities and creativity, teaches them to use modern computer technologies to solve applied problems. One of such academic disciplines, in which students are taught to use computer technologies in solving applied mathematical problems, is a training course called “Inverse problems for differential equations.” Such an academic discipline has been taught in some Russian universities in the form of elective courses since the 70s of the 20th century. The educational material of this training course includes advanced research results on inverse problems belonging to specialists from different countries, such as Germany, Italy, China, Sweden, Netherlands, Russia, Japan and other foreign countries. During the practical classes, much attention is paid to the use of computer simulation for the study of such applied problems. This circumstance implies the development of educational materials taking into account the professional training of university students, in which attention should be paid to the use of computer modeling in solving mathematical models of inverse problems. *Methodology.* The implementation of training of university students in physical and mathematical areas of training involves taking into account modern scientific achievements of world science in the field of inverse problems using computer simulation and implementing advanced pedagogical technologies in the classroom. *Results.* Students acquire scientific knowledge of computer modeling and master the wide possibilities of computer modeling in the study of inverse problems. *Conclusion.* The presence of scientific knowledge in the field of computer simulation and practical experience of its application for solving inverse problems gives students great advantages and opportunities to be successful specialists in the field of applied mathematics and to be in demand on the labor market in various spheres of human activity.

**Keywords:** inverse problems, differential equations, computer simulation, informatization of education, student, teaching

© Kornilov V.S., 2022

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**Article history:** received 10 September 2021; revised 15 October 2021; accepted 20 October 2021.

**For citation:** Kornilov V.S. Development of students' scientific knowledge on computer modeling while teaching inverse problems for differential equations. *RUDN Journal of Informa-tization in Education*. 2022;19(1):54–61. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-54-61>

## Развитие научных знаний студентов по компьютерному моделированию при обучении обратным задачам для дифференциальных уравнений

В.С. Корнилов 

Московский городской педагогический университет, Москва, Россия

✉ [vs\\_kornilov@mail.ru](mailto:vs_kornilov@mail.ru)

**Аннотация.** *Постановка проблемы.* В настоящее время высшая школа предоставляет студентам физико-математических направлений подготовки фундаментальные предметные знания, формирует профессиональные компетенции, развивает творческие способности и креативность, учит использовать современные компьютерные технологии для решения прикладных задач. Одной из таких учебных дисциплин, при обучении которой студентов учат применять компьютерные технологии при решении прикладных математических задач, является учебный курс «Обратные задачи для дифференциальных уравнений». Данная дисциплина преподается в некоторых вузах России в виде курсов по выбору с 70-х годов XX века. Учебный материал курса включает передовые результаты исследований по обратным задачам, принадлежащие специалистам разных стран, таких как Германия, Италия, Китай, Швеция, Нидерланды, Россия, Япония и другие страны дальнего зарубежья. На практических занятиях уделяется большое внимание применению компьютерного моделирования для исследования прикладных задач. Это обстоятельство предполагает разработку учебных материалов с учетом профессиональной подготовки студентов вузов, в которых необходимо уделить внимание использованию компьютерного моделирования при решении математических моделей обратных задач. *Методология.* Реализация обучения студентов вузов физико-математических направлений подготовки должно учитывать современные научные достижения мировой науки в области обратных задач с использованием компьютерного моделирования и реализовывать на учебных занятиях передовые педагогические технологии. *Результаты.* При исследовании обратных задач студенты приобретают научные знания по компьютерному моделированию и осваивают его широкие возможности. *Заключение.* Наличие научных знаний в области компьютерного моделирования и практического опыта его применения для решения обратных задач дает студентам большие преимущества, возможности стать успешными специалистами в области прикладной математики и быть востребованными на рынке труда в разных сферах человеческой деятельности.

**Ключевые слова:** обратные задачи, дифференциальные уравнения, компьютерное моделирование, информатизация образования, студент, обучение

**История статьи:** поступила в редакцию 10 сентября 2021 г.; доработана после рецензирования 15 октября 2021 г.; принята к публикации 20 октября 2021 г.

**Для цитирования:** *Kornilov V.S. Development of students' scientific knowledge on computer modeling while teaching inverse problems for differential equations // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2022. Т. 19. № 1. С. 54–61. <http://doi.org/10.22363/2312-8631-2022-19-1-54-61>*

**Problem statement.** The theory of inverse problems is being developed by the efforts of specialists from around the world. These are such authors as A.B. Bakushinsky, R. Burridge, Y.M. Berezansky, D.G. Berriman, A.L. Buchheim, V.V. Vasin, I.M. Gelfand, V.B. Glasko, N.B. Ilyinsky, S.G. Crane, M. Levitan, M.M. Lavrentiev, A.I. Prilepko, V.G. Romanov, A.A. Samarsky, L.N. Sretensky, V.P. Tanana, A.N. Tikhonov, L.D. Fadeev, L.A. Khalfin, A.M. Cherepashchuk, V.A. Yurko, A.G. Yagola, R. Arkangeli, Y.M. Chen, H. Cordes, A.J. Douglas, H. Engle, D.W. Fox, T. Galli, G. Gerglotz, K.V. Grouch, M. Grasselli, M. Hanke, F. Joksn, M.H. Protter, O.N. Strand, E. Wichert, N. Wiener and other specialists (see, for example, [1–10]).

A teacher who conducts training sessions with students on inverse problems strives to achieve didactic learning goals. This is the formation of students' scientific knowledge on modern methods of studying inverse problems, including both analytical and approximate methods; this is the development of students' skills in choosing and using modern computer technologies to study inverse problems; this is the development of students' creative mathematical abilities in solving inverse problems.

**Methodology.** During the training sessions, the teacher strives to ensure that students gain in-depth knowledge of modern achievements of inverse problems, master not only the conceptual apparatus and methods of solving inverse problems, but also acquire in-depth knowledge in the field of applied mathematics and computational mathematics, which would allow students to effectively explore atypical applied problems (see, for example, [11–24]).

In practical classes, students are invited to independently investigate model inverse problems, which involves the use of modern approaches and mathematical methods to prove the existence of solutions, their uniqueness and their stability.

Students are informed that numerical methods are an effective method for studying inverse problems in cases where it is not possible to find their exact solution.

It should be emphasized that the teacher in the classroom introduces students to approximate methods of studying inverse problems. It is appropriate to emphasize that such specialists in inverse problems as A.S. Alekseev, A.S. Barashkov, B.M. Budak, A.L. Bukhheim, P.N. Vabishevich, A.V. Goncharsky, V.I. Dmitriev, S.I. Kabanikhin, M.M. Lavrentiev, G.I. Marchuk, V.G. Romanov, A.N. Tikhonov, A.M. Cherepashchuk, V.G. Yakhno and other specialists develop approximate methods for solving inverse problems.

Currently widely used various computer technologies allow not only to find accurate and approximate solutions to equations of mathematical physics, but also, if users wish, to display these solutions on the computer monitor screen in the form of tables, diagrams, graphs of curves and surfaces. By applying the most effective computer technologies to solve mathematical physics equations, students realize the role of computer technology in scientific research.

In practical classes on inverse problems, students are taught to apply not only analytical methods, but also methods of computational mathematics. Students master such important concepts of computational mathematics as finite differences, difference scheme, grid function, approximation of partial derivatives of a function, convergence of an approximate solution of a mathematical equation.

In practical classes on inverse problems, special attention is paid to computer modeling. Today, computer modeling technologies are widely used in scien-

tific research by scientists from around the world. With the development of modern information technologies that allow mobile research of various mathematical models, computer modeling has become one of the most effective tools for understanding the surrounding reality.

Currently, textbooks for students on computer modeling have been published and are available for study, the authors of which are V.D. Boev, L.A. Bulavin, T.N. Varfolomeeva, V.V. Vasiliev, L.A. Vorobeychikov, N.V. Vygornitsky, I.Yu. Efimova, N.I. Lebovka, R.V. Mayer, G.V. Ovechkin, P.V. Ovechkin, Yu.N. Pavlovsky, A.M. Rybnikova, S.V. Porshnev, L.A. Simak, G.K. Sosnovikov, R.P. Sypchenko, Yu.Yu. Tarasevich and other specialists (see, for example, [25–29]).

By drawing students' attention to computer modeling, it is possible to form new scientific knowledge in the field of mathematical modeling and computational experiment, which they had not previously studied and could only study by attending classes in special mathematical disciplines.

**Results and discussion.** Computer technologies allow us to implement visualization of the obtained solutions of inverse problems. In computer technologies, there are convenient tools with which you can perform various mathematical calculations, perform appropriate analysis, test hypotheses and other possibilities.

The use of multimedia and computer technologies by the teacher in lectures on inverse problems allows implementing a visual demonstration method of teaching. It is possible for students to demonstrate in detail and mobile all the stages of the exact or approximate solution of inverse problems, to state, if necessary, the theorems of the existence, uniqueness and stability of the solution of inverse problems, the results of the numerical solution.

In laboratory classes, students learn to use computer technologies to find solutions to inverse problems, independently carrying out research activities.

It is obvious that the effectiveness of students mastering scientific knowledge in the field of computer modeling is ensured, in particular, by the fact that:

- a teacher who conducts classes on inverse problems has experience in the use of computer technology in the study of mathematical models based on equations of mathematical physics;
- lectures, seminars and laboratory classes on inverse problems are conducted, including with the involvement of computer technology;
- students whose term papers or theses are devoted to inverse problems are involved in independent scientific work on the use of computer technology to solve inverse problems.

This, in turn, will allow students to form new scientific knowledge in the field of computer modeling, to master the extensive possibilities of computer modeling in the study of applied mathematical problems, which include inverse problems for differential equations.

We note such possibilities of computer modeling as:

- visualization of the obtained solutions of mathematical models of inverse problems for differential equations in a convenient form for studying (graphs, tables, diagrams, objects in motion, etc.);
- the possibility of multiple studies of mathematical models of inverse problems with various additional information about the solution of a direct problem of the corresponding mathematical model;

- conducting applied research without risk to the environment and human health, allowing further development of health-saving and environmental technologies for the implementation of applied research;
- realization of the scientific and cognitive potential of mathematical models of inverse problems for differential equations;
- the study of processes and phenomena in places inaccessible to humans (the bottom of the World Ocean, the deep layers of the Earth, space objects, etc.);
- the possibility of studying processes and phenomena taking place in the past and future time.

Students in the training sessions on inverse problems for differential equations master the main stages of computer modeling.

Let's note these stages.

1. Logical and applied analysis of the research problem.
2. Formulation of the mathematical formulation of the inverse problem.
3. Logical and applied analysis of cause-and-effect relationships of the object under study.
5. Selection or development of an approximate method by which the solution of the inverse problem will be found.
6. Implementation of this approximate method on a computer.
7. Analysis of new scientific information about the object, which is contained in the obtained approximate solution of the inverse problem.
8. Mathematical analysis of the conducted computational experiment based on computer modeling.

**Conclusion.** Currently, the potential of computer modeling allows us to conduct applied scientific research and identify new scientific knowledge. It is obvious that specialists with scientific knowledge and experience in using computer modeling in conducting applied research in various subject areas are in demand. Therefore, students with deep knowledge of inverse problems and computer modeling will undoubtedly be in demand in research organizations after graduation.

## References

- [1] Vabishevich PN. *Computational methods of mathematical physics. Inverse problems and management problems*. Moscow: Vuzovskaya Kniga Publ.; 2019. (In Russ.)
- [2] Romanov VG. *Stability in inverse problems*. Moscow: Nauchnyj Mir Publ.; 2005. (In Russ.)
- [3] Yurko VA. *Introduction to the theory of inverse spectral problems*. Moscow: Fizmatlit Publ.; 2007. (In Russ.)
- [4] Yagola AG, Titarenko VN, Van YA, Stepanova IE. *Inverse problems and methods of their solution. Applications to geophysics*. Moscow: Binom Publ.; 2014. (In Russ.)
- [5] Falleta S, Monegato G, Scuderi L. On the discretization and application of two space – time boundary integral equations for 3D wave propagation problems in unbounded domains. *Applied Numerical Mathematics*. 2018;124:22–43. <http://doi.org/10.1016/j.apnum.2017.10.001>
- [6] Fedorov VE, Ivanova ND. Inverse problems for a class of linear Sobolev type equations with overdetermination on the kernel of operator at the derivative. *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2020;28(1):53–61. <https://doi.org/10.1515/jiip-2012-0076>
- [7] Flemming J. Existence of variational source conditions for nonlinear inverse problems in Banach spaces. *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2020;26(2):227–286. <https://doi.org/10.1515/jiip-2017-0092>

- [8] Huang L, Liang J, Wu C. A three-dimensional indirect boundary integral equation method for modeling elastic wave scattering in a layered halfspace. *Int. J. Solids Structures*. 2019;169:81–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2019.03.020>
- [9] Nguyen PM, Nguyen LH. A numerical method for an inverse source problem for parabolic equations and its application to a coefficient inverse problem. *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2020;28(3):323–339. <https://doi.org/10.1515/jiip-2019-0026>
- [10] Mei Y, Fulmer R, Raja V, Wang S, Goenezen S. Estimating the non-homogeneous elastic modulus distribution from surface deformations. *Int. J. Solids and Structures*. 2016;83:73–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2016.01.001>
- [11] Belov YuA, Lyubanova AS, Polynceva SV, Sorokin RV, Frolenkov IV. *Inverse problems of mathematical physics*. Krasnoyarsk: SFU Publ.; 2008. (In Russ.)
- [12] Bidajbekov EY, Kornilov VS, Kamalova GB. Teaching future teachers of mathematics and computer science inverse problems for differential equations. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*. 2014;(3(29)):57–69. (In Russ.)
- [13] Vatulyan AO, Belyak OA, Suhov DYu, Yavruyan OV. *Inverse and ill-posed problems*. Rostov-on-Don: Izd-vo Yuzhnogo Federal'nogo Universiteta Publ.; 2011. (In Russ.)
- [14] Kornilov VS. On the interdisciplinary nature of studies of cause-and-effect inverse problems. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*. 2004;(1(2)): 80–83. (In Russ.)
- [15] Kornilov VS. Humanitarian component of applied mathematical education. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*. 2006;(2(7)):94–99. (In Russ.)
- [16] Kornilov VS. The role of computer science training courses in teaching university students to numerical methods. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2011;(3): 24–27. (In Russ.)
- [17] Kornilov VS. Laboratory classes as a form of organizing students' training in fractal sets. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*. 2012;(1(23)): 60–63. (In Russ.)
- [18] Kornilov VS. Inverse problems in academic disciplines of applied mathematics. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*. 2014;(1(27)):60–68. (In Russ.)
- [19] Kornilov VS. Teaching students to inverse problems of mathematical physics as a factor in the formation of fundamental knowledge by integral equations. *Bulletin of Laboratory of Mathematical, Natural-Science Education and Informatization: The Reviewed Collection of Scientific Work*. 2015;VI:251–257. (In Russ.)
- [20] Kornilov VS. Realization of scientific and educational potential of teaching university students inverse problems for differential equations. *Kazan Pedagogical Journal*. 2016;(6(119)):55 – 60. (In Russ.)
- [21] Kornilov VS. Basic concepts of computer science in the content of teaching inverse problems for differential equations. *RUDN Journal of Informatization in Education*. 2016;(1):70–84. (In Russ.)
- [22] Kornilov VS. *Theory and technique of training to the inverse problems for differential equations*. Moscow: OntoPrint; 2017. (In Russ.)
- [23] Romanov VG. *Stability in inverse problems*. Moscow: Nauchnyj Mir Publ.; 2005. (In Russ.)
- [24] Bidajbekov YY, Kornilov VS, Kamalova GB, Akimzhan NS. Fundamentalization of knowledge system on applied mathematics in teaching students of inverse problems for differential equations. *AIP Conference Proceedings*. 2015;1676:020044. <http://doi.org/10.1063/1.4930470>
- [25] Efimova IYu, Varfolomeeva TN. *Computer simulation: collection of practical works*. Moscow: Flinta Publ.; 2019. (In Russ.)
- [26] Majer RV. Computer simulation: modeling as a method of scientific cognition. Computer models and their types. *Nauchnyi Elektronnyi Arhiv*. (In Russ.) Available from: <http://econf.rae.ru/article/6722> (accessed: 10.06.2021).
- [27] Ovechkin GV, Ovechkin PV. *Computer simulation*. Moscow: Akademiya Publ.; 2015. (In Russ.)

- [28] Pavlovskij YuN. *Computer simulation*. Moscow: Fizmatkniga Publ.; 2019. (In Russ.)
- [29] Sosnovikov GK, Vorobejchikov LA. *Computer simulation. Workshop on simulation modeling in the GPSS World environment*. Moscow: Forum Publ.; 2018. (In Russ.)

### Список литературы

- [1] *Вабищевич П.Н.* Вычислительные методы математической физики. Обратные задачи и задачи управления. М.: Вузовская книга, 2019. 478 с.
- [2] *Романов В.Г.* Устойчивость в обратных задачах. М.: Научный мир, 2005. 296 с.
- [3] *Юрко В.А.* Введение в теорию обратных спектральных задач. М.: Физматлит, 2007. 384 с.
- [4] *Ягола А.Г., Титаренко В.Н., Ван Я., Степанова И.Э.* Обратные задачи и методы их решения. Приложения к геофизике. М.: Бином, 2014. 218 с.
- [5] *Fallete S., Monegato G., Scuderi L.* On the discretization and application of two space – time boundary integral equations for 3D wave propagation problems in unbounded domains // *Applied Numerical Mathematics*. 2018. Vol. 124. Pp. 22–43. <http://doi.org/10.1016/j.apnum.2017.10.001>
- [6] *Fedorov V.E., Ivanova N.D.* Inverse problems for a class of linear Sobolev type equations with overdetermination on the kernel of operator at the derivative // *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2020. Vol. 28. No 1. Pp. 53–61. <https://doi.org/10.1515/jiip-2012-0076>
- [7] *Flemming J.* Existence of variational source conditions for nonlinear inverse problems in Banach spaces // *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2020. Vol. 26. No 2. Pp. 227–286. <https://doi.org/10.1515/jiip-2017-0092>
- [8] *Huang L., Liang J., Wu C.* A three-dimensional indirect boundary integral equation method for modeling elastic wave scattering in a layered halfspace // *Int. J. Solids Structures*. 2019. Vol. 169. Pp. 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2019.03.020>
- [9] *Nguyen P.M., Nguyen L.H.* A numerical method for an inverse source problem for parabolic equations and its application to a coefficient inverse problem // *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2020. Vol. 28. No 3. Pp. 323–339. <https://doi.org/10.1515/jiip-2019-0026>
- [10] *Mei Y., Fulmer R., Raja V., Wang S., Goenezen S.* Estimating the non-homogeneous elastic modulus distribution from surface deformations // *Int. J. Solids and Structures*. 2016. Vol. 83. Pp. 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2016.01.001>
- [11] *Белов Ю.А., Любанова А.Ш., Польшцева С.В., Сорокин Р.В., Фроленков И.В.* Обратные задачи математической физики: учебное пособие. Красноярск: СФУ, 2008. 153 с.
- [12] *Бидайбеков Е.Ы., Корнилов В.С., Камалова Г.Б.* Обучение будущих учителей математики и информатики обратным задачам для дифференциальных уравнений // *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования*. 2014. № 3 (29). С. 57–69.
- [13] *Ватульян А.О., Беляк О.А., Сухов Д.Ю., Явруян О.В.* Обратные и некорректные задачи: учебное пособие. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2011. 232 с.
- [14] *Корнилов В.С.* О междисциплинарном характере исследований причинно-следственных обратных задач // *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования*. 2004. № 1 (2). С. 80–83.
- [15] *Корнилов В.С.* Гуманитарная компонента прикладного математического образования // *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования*. 2006. № 2 (7). С. 94–99.
- [16] *Корнилов В.С.* Роль учебных курсов информатики в обучении студентов вузов численным методам // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования*. 2011. № 3. С. 24–27.

- [17] *Корнилов В.С.* Лабораторные занятия как форма организации обучения студентов фрактальным множествам // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. 2012. № 1 (23). С. 60–63.
- [18] *Корнилов В.С.* Обратные задачи в учебных дисциплинах прикладной математики // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. 2014. № 1 (27). С. 60–68.
- [19] *Корнилов В.С.* Обучение студентов обратным задачам математической физики как фактор формирования фундаментальных знаний по интегральным уравнениям // Бюллетень лаборатории математического, естественнонаучного образования и информатизации: рецензируемый сборник научных трудов: в 6 т. Т. 6. Самара: Самарский филиал МГПУ, 2015. С. 251–257.
- [20] *Корнилов В.С.* Реализация научно-образовательного потенциала обучения студентов вузов обратным задачам для дифференциальных уравнений // Казанский педагогический журнал. 2016. № 6. С. 55–59.
- [21] *Корнилов В.С.* Базовые понятия информатики в содержании обучения обратным задачам для дифференциальных уравнений // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. 2016. № 1. С. 70–84.
- [22] *Корнилов В.С.* Теория и методика обучения обратным задачам для дифференциальных уравнений: монография. М.: ОнтоПринт, 2017. 500 с.
- [23] *Романов В.Г.* Обратные задачи для дифференциальных уравнений: спецкурс для студентов НГУ. Новосибирск: НГУ, 1973. 252 с.
- [24] *Bidaibekov Y.Y., Kornilov V.S., Kamalova G.B., Akimzhan N.Sh.* Fundamentalization of knowledge system on applied mathematics in teaching students of inverse problems for differential equations // AIP Conference Proceedings. 2015. Vol. 1676. 020044. <http://doi.org/10.1063/1.4930470>
- [25] *Ефимова И.Ю., Варфоломеева Т.Н.* Компьютерное моделирование: сборник практических работ. М.: Флинта, 2019. 67 с.
- [26] *Майер Р.В.* Компьютерное моделирование: моделирование как метод научного познания. Компьютерные модели и их виды // Научный электронный архив. URL: <http://econf.rae.ru/article/6722> (дата обращения: 10.06.2021).
- [27] *Овечкин Г.В., Овечкин П.В.* Компьютерное моделирование. М.: Академия, 2015. 224 с.
- [28] *Павловский Ю.Н.* Компьютерное моделирование. М.: Физматкнига, 2019. 304 с.
- [29] *Сосновиков Г.К., Воробейчиков Л.А.* Компьютерное моделирование. Практикум по имитационному моделированию в среде GPSS World: учебное пособие. М.: Форум, 2018. 112 с.

#### **Bio note:**

*Viktor S. Kornilov*, Doctor of Pedagogical Sciences, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Full Professor, Professor, Department of Education Informatization, Moscow City University, 29 Sheremetyevskaya St, Moscow, 127521, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0476-3921. E-mail: [vs\\_kornilov@mail.ru](mailto:vs_kornilov@mail.ru)

#### **Сведения об авторе:**

*Корнилов Виктор Семенович*, доктор педагогических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, департамент информатизации образования, Московский городской педагогический университет, Российская Федерация, 127521, Москва, ул. Шереметьевская, д. 29. ORCID: 0000-0003-0476-3921. E-mail: [vs\\_kornilov@mail.ru](mailto:vs_kornilov@mail.ru)