

Уважаемые читатели и авторы!

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

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

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

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

С электронной версией журнала, редакционной политикой и правилами для авторов можно ознакомиться на сайте dt.bsuir.by. Материалы научной статьи для публикации можно подать с помощью специальной формы на сайте журнала или отправить на электронный адрес dig.tr@bsuir.by.

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

Редакция журнала «Цифровая трансформация»

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Научный журнал издается с 1995 г. Выходит ежеквартально.

Ранее издание выходило под названием «Информатизация образования».

В 2017 г. журнал перерегистрирован под названием

«Цифровая трансформация», ISSN 2522-9613

Главный редактор

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

Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ответственный секретарь Т. В. Мироненко

Подписано в печать 28.05.2024. Формат бумаги 60×84 $\frac{1}{8}$. Бумага офисная. Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 10,0. Уч.-изд. л. 8,1. Тираж 50 экз. Заказ 80.

Адрес редакции: ул. П. Бровки, 6, к. 329а, г. Минск, 220013, Республика Беларусь
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-88-41. dig.tr@bsuir.by; <http://dt.bsuir.by>

Отпечатано в БГУИР. ЛП № 02330/264 от 24.12.2020.
220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 6

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Индекс для индивидуальной подписки 75057. Индекс для ведомственной подписки 750572

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2024

DIGITAL TRANSFORMATION

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

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

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

Editor-in-Chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Responsible Secretary T. Mironenka

Signed for printing 28.05.2024. Format 60×84 ½. Office paper. Printed on a risograph. Type face Times.

Ed.-pr. l. 10,0. Ed.-ed. l. 8,1. Edition 50 copies. Order 80.

Editorial Address: P. Brovki St., 6, Off. 329a, Minsk, 220013, Republic of Belarus

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Tel.: +375 17 293-88-41. dig.tr@bsuir.by; <http://dt.bsuir.by>

Printed in BSUIR. License LP No 02330/264 from 24.12.2020.

220013, Minsk, P. Brovki St., 6

Founder – Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”

Index for individual subscription 75057. Index for departmental subscription 750572

© Educational Establishment “Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics”, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Т. 30, № 2, 2024

Экономические науки, образование

Levin S. M., Isakova A. I. Adaptive Education as a Key Element for Enhancing the Effectiveness of Learning Processes (Левин С. М., Исакова А. И. Адаптивное образование как ключевой элемент повышения эффективности учебных процессов).....	5
Хакимов Ж. О., Рахматова Ф. М. Формирование готовности студентов к профессиональной проектно-конструкторской деятельности на основе интегративного подхода	11
Ахремчик О. Л., Хабаров А. Р. Использование программного обеспечения при проектировании цифровых устройств в ходе гибридного обучения	16
Шпак И. И., Касанин С. Н., Степанец А. С. Повышение эффективности и качества образования как основа успешной цифровизации экономики	24
Козинец А. Н. Применение интеллектуального анализа данных для прогнозирования успешности трудоустройства социально уязвимых групп	33
Charyyeva A. A., Nokerov S. M., Hojagulyyev P. E., Orazov A. M., Venkataraman A. P., Bikku Th. Improving Engineering Students' Understanding of Components of Cyber-Physical Systems Using a Team Project-Based Teaching Method (Чарыева А. А., Нокеров С. М., Ходжагулыев П. Э., Оразов А. М., Венкатараман А. П., Бикку Т. Улучшение понимания студентами-инженерами компонентов киберфизических систем с использованием метода обучения, основанного на командных проектах).....	43

Технические науки

Бущик Е. А., Листопад Н. И. Матричный подход для моделирования взаимосвязей бизнес-процессов и организационной структуры учреждения образования.....	52
Макаревич А. Л., Матына Л. И., Соковнич С. М. Схемотехническое моделирование и подготовка инженерных кадров в эпоху цифровизации	59
Крючков А. А., Князев М. А. Методы квантового программирования: подходы к формированию онтологии и формализации современной вычислительной парадигмы в образовательном процессе....	67
Герасимов В. А., Бойправ О. В. Метод обнаружения событий информационной безопасности в системах облачной подписи	77

CONTENTS

V. 30, No 2, 2024

Economic Sciences, Education

Levin S. M., Isakova A. I. Adaptive Education as a Key Element for Enhancing the Effectiveness of Learning Processes.	5
Khakimov Zh. O., Rakhmatova F. M. Formation of Students' Readiness for Professional Design and Construction Activities Based on an Integrative Approach	11
Akhremchik O. L., Chabarov A. R. Software Using in Digital Design Under Hybrid Training	16
Shpak I. I., Kasanin S. N., Stepanets A. S. Improving the Efficiency and Quality of Education as the Basis for Successful Digitalization of the Economy	24
Kazinets A. N. Application of Intelligent Data Analysis to Predict the Employment Success of Socially Vulnerable Groups	33
Charyyeva A. A., Nokerov S. M., Hojagulyyev P. E., Orazov A. M., Venkataraman A. P., Bikku Th. Improving Engineering Students' Understanding of Components of Cyber-Physical Systems Using a Team Project-Based Teaching Method	43

Technical Sciences

Bushchyk E. A., Listopad N. I. Matrix Approach for Modeling the Interrelationships of Business Processes and Organizational Structure of an Educational Institution.....	52
Makarevich A. L., Matyna L. I., Sokovnich S. M. Circuit Modeling and Training of Engineering Personnel in the Era of Digitalization.....	59
Kryuchkov A. A., Knyazev M. A. Quantum Programming Methods: Approaches to the Formation of Ontology and Formalization of the Modern Computing Paradigm in the Educational Process	67
Gerasimov V. A., Boyprav O. V. Method for Information Security Events Detection in a Cloud Signature Systems	77



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-5-10>

Original paper

UDC 37.018.43; 004.7; 004.738.5

ADAPTIVE EDUCATION AS A KEY ELEMENT FOR ENHANCING THE EFFECTIVENESS OF LEARNING PROCESSES

SEMEN M. LEVIN, ANNA I. ISAKOVA

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (Tomsk, Russian Federation)

Submitted 19.03.2024

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024

Abstract. This article explores issues related to the adaptive learning of students in higher education institutions, presenting the main characteristics of both traditional and contemporary educational paradigms. It describes the latter's advantages in the context of the dynamic changes of the modern world and, specifically, the demands on the process and outcomes of higher education. In discussing modern learning concepts, those foundational to adaptive learning are examined separately. The authors provide a description, objectives, methods, and results of the study conducted as an experiment with first-year undergraduate students. The results are assessed in the conclusion, and recommendations for their practical application are presented.

Keywords: adaptive learning, traditional learning, higher education, statistical analysis, personalized education, student-centered learning, educational technologies, innovative educational approaches.

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

For citation. Levin S. M., Isakova A. I. (2024) Adaptive Education as a Key Element for Enhancing the Effectiveness of Learning Processes. *Digital Transformation*. 30 (2), 5–10. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-5-10>.

АДАПТИВНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЕБНЫХ ПРОЦЕССОВ

С. М. ЛЕВИН, А. И. ИСАКОВА

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
(г. Томск, Российская Федерация)*

Поступила в редакцию 19.03.2024

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы адаптивного обучения студентов высших образовательных учреждений, приводятся основные характеристики традиционной и современной образовательных парадигм. Описываются преимущества последних в свете динамических изменений современного мира и, в частности, требований к процессу и результатам высшего образования. В рамках обсуждения современных концепций обучения отдельно рассматриваются те из них, которые лежат в основе адаптивного обучения. Авторы приводят описание, цели, методы и результаты исследования, проведенного в форме эксперимента с учащимися первого курса программы бакалавриата. Даны оценка полученных результатов и рекомендации для их практического применения.

Ключевые слова: адаптивное обучение, традиционное обучение, высшее образование, статистический анализ, персонализированное обучение, студенто-центрированное обучение, образовательные технологии, инновационные подходы в образовании.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Левин, С. М. Адаптивное образование как ключевой элемент повышения эффективности учебных процессов / С. М. Левин, А. И. Исакова // *Цифровая трансформация*. 2024. Т. 30, № 2. С. 5–10. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-5-10>.

Introduction

In the contemporary world, where technologies evolve at an incredible pace, the educational process cannot remain unchanged. Among the innovative approaches taking a central place in pedagogy in recent years, adaptive learning stands out prominently [1]. This method implies the individualization of the learning process, making it maximally effective for each student. It considers the unique features, pace of material assimilation, and students' interests, thereby ensuring a deep understanding of the subject and durable retention of information.

The use of adaptive technologies in education not only enhances student motivation but also makes the learning process more flexible and accessible [2]. The relevance of adaptive learning is undeniable – this educational approach recognizes that traditional teaching methods, which assume a uniform program for all, no longer meet the requirements of the times. This method offers a solution that allows the educational process to be more flexible and individualized. The significance of researching adaptive learning becomes particularly relevant in the context of remote and blended education, which has become an integral part of life for many students and teachers worldwide [3]. In such conditions, adaptive learning technologies can offer effective tools for maintaining student engagement, motivation, and success in learning despite the absence of traditional personal interaction [4].

Furthermore, the importance of adaptive learning is underscored by the necessity to prepare students for working in conditions requiring a high degree of variability, critical thinking, and the ability to learn independently. In this respect, adaptive systems serve not only as a method to enhance academic success but also as a means to develop skills necessary for successful careers and continuous professional growth in the future [5]. Thus, the relevance of researching adaptive learning is determined by its potential to significantly improve the quality and accessibility of education, tailor learning to the needs and capabilities of each student, and prepare students for effective work and life in an ever-changing world [6].

Traditional teaching methods, characterized by a standardized approach to teaching, have played a crucial role in the education system for many years. However, considering modern requirements and the dynamically changing educational environment, these approaches increasingly demonstrate their shortcomings rather than advantages. Let us consider the main aspects of traditional teaching methods that do not meet today's requirements.

Firstly, the classical teaching system implies a unidirectional knowledge transfer process from teacher to student, often using lectures and oral explanations. In other words, the “teacher-student” relationships are structured according to a the subject-object system, where the learner plays the passive participant affected by the teaching process [7], this limits active participation in the educational process and does not facilitate the development of critical thinking and independence.

Traditional teaching methods often rely on a standardized curriculum, assuming the same volume and content of material for all students, which does not consider the individual characteristics of students, their learning pace, and interests [8]. Such an averaged approach to learners can decrease motivation and academic performance. These methods also involve assessing results by a single standard – using uniform tests and exams for all students, not always adequately reflecting individual achievements and skills. Besides producing inaccurate evaluation outcomes, this approach negatively affects students' self-esteem and attitude towards learning.

Educational systems adhering to the a traditional pedagogical approach often demonstrates low flexibility in adapting to changes and innovations [9], this relates both to the incorporation of new technologies and the application of innovative teaching approaches. Thus, the system is characterized by a high degree of inertia, making it even less effective in the conditions of the modern dynamic world.

Another characteristic is the insufficient focus on practical skills. Many traditional methods are centered on theoretical knowledge, paying inadequate attention to developing applied competencies [10]. As a result, students struggle to apply the knowledge gained in real-life and professional situations, not to mention doubts regarding the relevance of the knowledge obtained.

Such problems with traditional educational methods highlight the need for their reevaluation and significant adjustment, considering the modern requirements of the external environment relative to educational institutions. In response to this and considering significant changes in the modern world, new

educational concepts have emerged. They form the foundation of adaptive learning, offering innovative educational approaches to make learning more personalized, flexible, and effective. Let us examine some of them that have facilitated the development of adaptive learning.

Differentiated learning involves creating diverse learning paths and tasks adapted for each student. This concept acknowledges students' rights to possess different abilities, preferences, and learning styles, and offers corresponding methods to maximize engagement, and effectiveness of learning for each individual [11].

Competency-based learning focuses on students acquiring specific skills and knowledge necessary for successful activity in a particular area. Unlike traditional learning, where the emphasis is on the time spent studying material, competency-based learning focuses on demonstrating actual abilities and achievements [12].

Flexible learning creates an educational environment that gives students a choice regarding how, when, and where they learn [13]. This approach includes the use of various educational technologies and methods – such as online courses, blended learning, and self-study – to provide students with maximum flexibility and access to educational resources.

Another concept, **personalized learning**, strives to tailor the educational process to the personal characteristics, needs and goals [14]; this is achieved through the use of adaptive educational platforms, learning analytics, and individualized study plans, allowing students to progress through the educational route at their own pace and focus on the most significant aspects of the learning content for them.

The contemporary educational methodologies signify a departure from uniform, one-size-fits-all approaches towards more dynamic and student-centered strategies, showcasing a worldwide shift from a teacher-centric to a learner-centric paradigm [15]. This learner-centric paradigm heralds a pivotal shift in educational strategies, diverging from the conventional model that places teaching at the forefront, to a new model that prioritizes the learner and their educational journey. Within this paradigm, the emphasis is on the proactive involvement of students in their own learning, underscoring the necessity of an educational atmosphere that nurtures independent learning, critical analysis, and the applied use of knowledge. Essential elements of this learner-centric paradigm encompass:

- *learner-centric focus* – contrasting with the traditional paradigm where the educator is seen as the main conduit of knowledge, this new paradigm places the learner at the heart of the educational experience. The structuring of the educational process is thus designed to fully accommodate each learner's unique characteristics and learning preferences;

- *engaged learning* – this principle advocates for the students' active engagement in their educational pursuits, encompassing activities that foster critical thinking, project-based learning, group discussions, and autonomous investigation. Engaged learning is instrumental in cultivating a profound comprehension of subjects and honing skills vital for addressing challenges in the real world;

- *cooperative engagement and interaction* – the paradigm underscores the significance of mutual cooperation and interaction, both among peers and between students and educators. This collaborative engagement and idea exchange are crucial for enriching understanding of the curriculum and fostering interpersonal skills;

- *technological integration* – the adoption of digital technologies within the learning process is a cornerstone of this modern paradigm. Such technologies afford learners access to an expansive array of informational resources, collaborative tools, and platforms for exchanging knowledge;

- *lifelong learning* – recognizing education as an ongoing journey that transcends the confines of the classroom, this aspect views learning not as a finite phase but as an enduring component of life. It champions continuous self-improvement and the perpetual refreshment of knowledge and abilities.

It is worth noting that adaptive learning, formed on the principles of the described paradigm, is not just theory. Implementing various educational programs – from experimental to integrated into the educational process – confirms their practical effectiveness. Such programs facilitate targeted learning and improve educational outcomes in colleges and universities [16]. Educational platforms created to provide adaptive education allow students to access learning content that matches their individual needs and learning styles, ultimately enhancing academic performance [17]. Systems developed can integrate various learning styles, significantly improving the efficiency of education [18]. Data analytics and adaptive technologies also contribute to the personalization of learning, satisfying individual educational preferences [19]. A separate mention is the research dedicated to developing an adaptive learning system based on EEG brainwaves of students, which is also aimed at improving the efficiency of education by personally adapting learning materials to students' strengths [20]. Individually oriented solu-

tions offered by adaptive e-learning educational systems create specially designed environments using learning style analytics, i.e., student patterns [21]. Adapting courses to students' preferences in adaptive educational systems can also increase satisfaction with the learning process [22].

A review of numerous studies confirms the significance of adaptive learning as a tool for enhancing student learning, demonstrating the practical possibility of meeting individual educational needs. Within the scope of studying the described area, the authors conducted research aimed at a comparative evaluation of the effectiveness of adaptive learning compared to traditional methods based on the analysis of educational data collected during the learning process. The research methods included an experiment and statistical analysis of the collected data. Participants in the experiment were first-year undergraduate students – two groups of 30 students each. One group was taught using an adaptive (experimental) program, the other with a traditional (control group) program.

Before the start of the learning, preliminary testing of both groups was conducted to determine the initial level of knowledge in subject. The average score of both groups was 55.72 and 54.26 out of a possible 100. The experimental group followed the adaptive program scenario during the subsequent learning, while the control group followed the traditional one. The observation period lasted one academic semester.

Research results and discussion

After completing the course, both groups underwent final testing. The scoring system used was on a hundred-point scale. The average final score of the experimental group was 83.27, and for the control group it was 66.12 (Fig. 1).

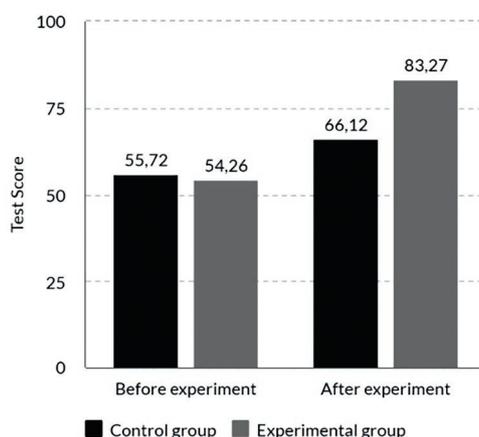


Fig. 1. Test results for both groups before and after the experiment

The following data were taken for subsequent statistical analysis:

- sample size (n): 30 students in each group;
- mean values (M): $M_1 = 83.27$ (adaptive learning), $M_2 = 66.12$ (traditional learning);
- standard deviation (SD): $SD_1 = 8$ for the experimental group and $SD_2 = 10$ for the control group;
- the standard error of the mean (SEM), calculated using the formula $SEM = \sqrt{(SD_1^2/n_1) + (SD_2^2/n_2)}$, was $SEM \approx 2.07$, t -value: $t = (M_1 - M_2)/SEM \approx 8.28$ (for convenience, the results are rounded to the nearest hundredth within this text).

Using the t -distribution table, with 58 degrees of freedom ($n_1 + n_2 - 2$) and a t -value \approx of 8.28, the p -value is less than 0.001, significantly below the standard threshold of 0.050 for statistical significance. It indicates that the differences between the groups are statistically significant.

The implementation of adaptive learning in the educational landscape presents a compelling approach to customizing and enhancing each student's learning journey. This study underscores the pivotal role adaptive learning plays in modern education, particularly highlighting its capacity to cater to students' unique learning styles, paces, and interests. Through the deployment of adaptive technologies, education becomes not only more accessible but also significantly more engaging and efficient for learners.

Adaptive learning's recognition of the need for a departure from one-size-fits-all teaching methods to more individualized and flexible strategies aligns with the evolving requirements of the digital age. Traditional teaching methods, while foundational to the education system for many years, often fail

to meet today's learners' dynamic and diverse needs. This research corroborates the growing consensus that adaptive learning methodologies offer a more effective and personalized learning experience, enhancing student outcomes.

One of the study's notable findings is the statistically significant improvement in learning outcomes among students who participated in the adaptive learning program compared to those in the traditional learning setup. This outcome validates the efficacy of adaptive learning strategies and significantly highlights their potential to enhance academic performance. The individualized nature of adaptive learning, with its focus on tailoring the educational content and pace to each student's specific needs, proves instrumental in facilitating a deeper understanding and retention of knowledge.

Moreover, adaptive learning's relevance is further emphasized in remote and blended learning environments. As education increasingly moves online, maintaining student engagement and motivation becomes paramount. Adaptive learning technologies emerge as crucial tools, offering innovative solutions that ensure educational continuity and effectiveness, even without traditional classroom interactions.

The study also illuminates the importance of preparing students for the complexities of the modern workforce. Adaptive learning systems aim to improve academic success and focus on developing critical skills necessary for lifelong learning and adaptability in a rapidly changing world. By fostering an environment that encourages critical thinking, self-directed learning, and the application of knowledge in practical settings, adaptive learning prepares students for successful careers and ongoing professional development.

This research advocates for adopting adaptive learning technologies in higher education. Highlighting the tangible benefits of personalized and flexible learning experiences calls for educators and curriculum developers to integrate adaptive learning strategies into their teaching practices. Such an approach enhances student engagement and satisfaction and aligns educational processes with the demands of the XXI century.

In conclusion, this study's findings reinforce the transformative potential of adaptive learning in higher education. By offering a more personalized, flexible, and effective learning experience, adaptive learning stands out as a critical factor in elevating the educational process's efficiency. As the educational landscape continues to evolve, integrating adaptive learning strategies will undoubtedly play a crucial role in shaping the future of education, making it more responsive to learners' diverse needs and aspirations worldwide.

Conclusion

1. The study demonstrates that students' learning outcomes in the experimental group are significantly higher than those of the control group. It confirms the hypothesis of a significant increase in the effectiveness of learning when applying the adaptive learning program and indicates that an individualized approach, which takes into account the unique needs and learning paces of each student, contributes to better material assimilation.

2. Such learning may also contribute to increased student engagement and motivation. Although our study did not directly focus on these aspects, it is reasonable to suggest that the higher scores achieved by the experimental group are partly due to increased motivation and interest in the learning material induced by the personalized approach. Based on the data obtained, we recommend that university teachers and course developers actively explore and implement adaptive educational technologies. It is important to consider individual differences among students and provide educational content that matches their educational preferences.

References

1. Muñoz J. L. R., Ojeda F. M., Jurado D. L. A., Peña P. F. P., Carranza Ch. P. M., Berríos H. Q., et al. (2022) Systematic Review of Adaptive Learning Technology for Learning in Higher Education. *Eurasian Journal of Educational Research*. 98, 221–233.
2. Alamri H. A., Watson S., Watson W. (2021) Learning Technology Models That Support Personalization Within Blended Learning Environments in Higher Education. *TechTrends*. 65, 62–78.
3. Stevanović A., Božić R., Radović S. (2021) Higher Education Students' Experiences and Opinion About Distance Learning During the COVID-19 Pandemic. *Journal of Computer Assisted Learning*. 37 (6), 1682–1693.
4. Wang S., Christensen C., Wei Cui, Tong R., Yarnall L., Shear L., et al. (2023) When Adaptive Learning Is Effective Learning: Comparison of an Adaptive Learning System to Teacher-Led Instruction. *Interactive Learning Environments*. 31 (2), 793–803.

5. Katsaris I., Vidakis N. (2021) Adaptive E-Learning Systems Through Learning Styles: A Review of the Literature. *Advances in Mobile Learning Educational Research*. 1 (2), 124–145.
6. El-Sabagh H. A. (2021) Adaptive E-Learning Environment Based on Learning Styles and its Impact on Development Students' Engagement. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 18 (1), 1–24.
7. Levin S. M. (2021) Distance Learning and Education Modernization – Deadlock or Opportunity? *Journal of Wellbeing Technologies*. 2 (41), 139–148 (in Russian).
8. Tukhtasinov I., Khakimov M. (2021) Modern Views on the Problem of Distance and Traditional Methods of Teaching the Italian Language in Higher Educational Institutions. *Society and Innovation*. 2 (2), 111–117.
9. King I., Saxena C., Pak C., Lam C., Cai H. (2021) Rethinking Engineering Education: Policy, Pedagogy, and Assessment During Crises. *IEEE Signal Processing Magazine*. 38 (3), 174–184.
10. Sultanova L., Hordiienko V., Romanova G., Tsytsiura K. (2021) Development of Soft Skills of Teachers of Physics and Mathematics. *Journal of Physics: Conference Series*. 1840.
11. Chorshanбиеv Z. E. (2021) Differentiated Training of Students in Higher Mathematics Classes at a Technical University. *Academy*. 4 (67), 42–47.
12. Wang H., Tlili A., Lehman J. D., Lu Hang, Huang R. (2021) Investigating Feedback Implemented by Instructors to Support Online Competency-Based Learning (CBL): A Multiple Case Study. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 18 (1), 1–21.
13. Müller C., Mildenerger T. (2021) Facilitating Flexible Learning by Replacing Classroom Time with an Online Learning Environment: A Systematic Review of Blended Learning in Higher Education. *Educational Research Review*. 34.
14. Watters A. (2023) *Teaching Machines: The History of Personalized Learning*. MIT Press.
15. Levin S. M. (2023) Higher Education: Transition from to Content. *Modern Education: Integration of Education, Science, Business and Authority. Transformation of Education, Science and Production is the Basis of a Technological Breakthrough, Materials of the International Scientific and Methodological Conference. Part 1*. Tomsk, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. 48–53 (in Russian).
16. Cai Y. (2023) Adaptive Learning Analysis System for Colleges and Universities Based on Online and Offline Mixed Teaching. *2023 IEEE International Conference on Control, Electronics and Computer Technology*. 1125–1128.
17. Boussakuk M., Bouchboua A., El Chazi M., Fattah M., El Bekkali M. (2020) A Fully Individualized Adaptive and Intelligent Educational Hypermedia System: Details of Cleveruniversity. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 8 (5), 1497–1502.
18. Kulaglic S., Mujačić S., Kapetanović I., Kasapović S. (2013) Influence of Learning Styles on Improving Efficiency of Adaptive Educational Hypermedia Systems. *2013 12th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training*. 1–7.
19. Santos S. M. A. V., Rodrigues B. dos S., Graciotto C. D. M., de Almeida C. S., Soeiro U. T. P. (2024) Personalizing Education: The Role of Adaptive Technologies in Individualized Education. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*. 17 (2), e5190–e5190.
20. Hu P. C., Kuo P. C. (2017) Adaptive Learning System for E-Learning Based on EEG Brain Signals. *2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics*. 1–2.
21. Katsaris I., Vidakis N. (2021) Adaptive E-Learning Systems Through Learning Styles: A Review of the Literature. *Advances in Mobile Learning Educational Research*. 1 (2), 124–145.
22. Popescu E., Badica C., Moraret L. (2010) Accommodating Learning Styles in an Adaptive Educational System. *Informatica*. 34 (4).

Authors' contribution

The authors contributed equally to the writing of the article.

Information about the authors

Levin S. M., Cand. of Sci., Associate Professor, Professor at the Department of Automated Control Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

Isakova A. I., Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Automated Control Systems, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics

Address for correspondence

634050, Russian Federation,
Tomsk, Lenin Ave., 40
Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
Tel.: +7 3822 70-15-36
E-mail: semen.m.levin@tusur.ru
Levin Semen Mikhailovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-11-15>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 378.091.3:006

ФОРМИРОВАНИЕ ГОТОВНОСТИ СТУДЕНТОВ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАТИВНОГО ПОДХОДА

Ж. О. ХАКИМОВ, Ф. М. РАХМАТОВА

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
(г. Ташкент, Республика Узбекистан)

Поступила в редакцию 18.03.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Представлены подход, этапы, критерии и уровни формирования проектно-конструкторских компетенций среди бакалавров по техническим направлениям обучения как целостная, многоуровневая динамическая система, а также дидактические составляющие учебного процесса. Предлагаемый подход основан на непрерывности процесса подготовки студентов к проектно-конструкторской деятельности в течение всего периода обучения в университете, на использовании проблемно ориентированных и спроектированных принципов обучения, наряду с междисциплинарной природой образования и ведущей самостоятельной работой.

Ключевые слова: проектирование, система образования, интеграция, компетенция, задачи, педагогические технологии, развитие.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Хакимов, Ж. О. Формирование готовности студентов к профессиональной проектно-конструкторской деятельности на основе интегративного подхода / Ж. О. Хакимов, Ф. М. Рахматова // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 11–15. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-11-15>.

FORMATION OF STUDENTS' READINESS FOR PROFESSIONAL DESIGN AND CONSTRUCTION ACTIVITIES BASED ON AN INTEGRATIVE APPROACH

ZHAMSHID O. KHAKIMOV, FIRUZA M. RAKHMATOVA

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, the Republic of Uzbekistan)

Submitted 18.03.2024

Abstract. The approach, stages, criteria and levels of development of design and engineering competencies among bachelors in technical areas of study are presented as an integral, multi-level dynamic system, as well as didactic components of the educational process. The proposed approach is based on the continuity of the process of preparing students for design and engineering activities throughout the entire period of study at the university, on the use of problem-oriented and designed teaching principles, along with the interdisciplinary nature of education and leading independent work.

Keywords: design, education system, integration, competence, tasks, pedagogical technologies, development.

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

For citation. Khakimov Zh. O., Rakhmatova F. M. (2024) Formation of Students' Readiness for Professional Design and Construction Activities Based on an Integrative Approach. *Digital Transformation*. 30 (2), 11–15. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-11-15> (in Russian).

Введение

Интегративный подход в обучении – это формат, отвечающий требованиям современного мира. Он ориентирован на практическое применение знаний и помогает решать проблемы одной науки посредством другой. Каждый ученик усваивает навыки взаимодействия с окружающими, приобретает целостную систему знаний о мире.

В настоящее время исходя из особенностей развития высокотехнологичного аспекта производства компетенции выпускника технического вуза все больше ориентируются на создание комплексных технических систем и управление ими, а также на совершенствование существующих и внедрение новых технических объектов. В этом случае основной целью системы высшего профессионального образования является повышение внимания к проблемам подготовки выпускников технического профиля качественно нового уровня, т. е. к самостоятельному обнаружению и решению комплексных инженерно-технических задач, выходящих за рамки стандартных ситуаций; формирование активной креативной личности, способной конструировать и проектировать комплексные ресурсосберегающие технические объекты и производственно-технологические процессы.

Несмотря на то, что современное разделение труда в области машиностроения неизбежно ведет к специализации инженеров, основная составляющая любой инженерно-технической деятельности – проектно-конструкторская деятельность, успех которой зависит от формирования соответствующих компетенций. Переход к компетенционно-ориентированному обучению обуславливает необходимость поиска соответствующих теоретико-методических решений, направленных на эффективную организацию учебного процесса и обеспечивающих повышение качества развития профессионально значимых компетенций, необходимых для ведения проектно-конструкторской деятельности, позволяющих выпускнику быть конкурентоспособным на рынке труда [1, 2].

Методика проведения эксперимента и ее результаты

Для достижения наилучшего результата в формировании проектно-конструкторских компетенций необходимо прививать культуру проектной деятельности начиная с первого курса бакалавриата. В дальнейшем это позволяет студентам плодотворно работать как в междисциплинарных, так и в интегрированных внутри вузовских проектах, максимально способствует развитию активной личности, формированию познавательных интересов, творческих способностей, умения оценивать и соизмерять свои индивидуальные возможности, проявлять инициативность, самостоятельность, реализовывать личностный потенциал.

Начиная с первого курса при изучении дисциплин общепрофессионального цикла и заканчивая подготовкой выпускной квалификационной работы, деятельность студентов должна быть связана с решением практико-ориентированных профессиональных задач, которые они должны решать самостоятельно или в командах посредством проектной работы. Принципиально важным при формировании проектно-конструкторских компетенций является использование современных информационных технологий. Это позволяет расширить сферу применения полученных технических знаний в области программирования с использованием систем автоматического проектирования и конструирования. Процесс проектирования с применением компьютера помогает легко и механически просто строить нужные сочетания, обеспечивая модульность представления знаний. Широкое отражение это находит в проектно-организованном компоненте структуры информационно-методического обеспечения процесса формирования проектно-конструкторских компетенций будущих специалистов в области техники и технологии, когда проекты выполняются студентами с использованием современных средств автоматизированного проектирования (Autodesk AutoCAD, 3ds Max, SolidWorks, Mathcad), что позволяет не только автоматизировать разработку проектно-технической документации, но и выполнять 3D-модели проектируемых изделий [3–5].

На рис. 1 приведены виды учебной деятельности, ориентированные на подготовку к проектно-конструкторской деятельности, где УИРС – учебно-исследовательская работа студента; ВКР – выпускная квалификационная работа. Каждый из выделенных этапов обучения основан на использовании принципов проблемно-ориентированного и проектно-организованного подходов в обучении (ориентация на решение определенной проблемы через проект, студенто-центрированность, междисциплинарность, командную работу, обучение на основе опыта) в сочетании с различными видами учебно-познавательной деятельности. Основная идея заключается в попытке обеспечения тесной связи производства и непрерывности процесса подготовки студентов к проектно-конструк-

торской деятельности на основе интегративного подхода. Интегративный подход рассматривается как реализация трех основных положений, отражающих три стороны учебного процесса: содержание обучения, методику обучения и организационный аспект.



Рис. 1. Виды учебной деятельности, ориентированные на подготовку к проектно-конструкторской деятельности

Fig. 1. Types of educational activities focused on preparation for design and engineering activities

На каждом этапе обучения обеспечивается взаимосвязь между различными уровнями готовности студентов к проектной деятельности посредством корректировки целей обучения, содержания общепрофессиональных и специальных дисциплин, выбора соответствующих технологий обучения. На ориентирующем этапе обучения процесс развития проектно-конструкторских компетенций осуществляется на уровне интеграции межпредметных связей: используются понятия, законы, категории, которые являются общими в учебных дисциплинах общепрофессиональной и специальной подготовки; изложение теоретического материала ведется с опорой на знания студентами смежных дисциплин; для самостоятельной работы студентам предоставляется право выбора уровня сложности задания в соответствии с их возможностями. В этот период обучения, наряду с решением хорошо структурированных типовых задач, вводятся творческие задания, не имеющие однозначного решения, для выполнения которых студентам необходимо актуализировать знания не только дисциплин проектировочного блока, но и нескольких смежных учебных дисциплин общепрофессионального цикла [6–8].

Процесс обучения, главным образом основанный на информационно-развивающих технологиях обучения, направлен на систематизацию у студентов знаний по общепрофессиональным дисциплинам, на своевременную их актуализацию, а также на формирование устойчивых навыков работы с информацией. На преобразующем этапе обучения процесс развития проектно-конструкторских компетенций направлен на формирование потребностей студентов в дополнительной информации, умений ее поиска и переработки с опорой на дисциплины проектировочного блока. На данном этапе, основанном на использовании деятельностных технологий обучения, выполняются различные нетиповые проекты, которые представляют собой творческие задания междисциплинарного характера. В этот период обучения у студентов происходит формирование системы профессиональных практических умений и навыков, по отношению к которым учебная информация выступает инструментом, обеспечивающим возможность качественно выполнять профессиональную деятельность. Целевая ориентация и мотивация студентов направлены на повышение потребности в самообразовании и самосовершенствовании своей проектно-конструкторской деятельности, самостоятельный поиск и переработку профессионально значимой информации [9, 10].

На творческом этапе обучения студенты овладевают практическим опытом проектирования через введение в учебный процесс заданий по разработке проектов междисциплинарного харак-

тера, которые представляют собой синтез творческой, научно-исследовательской и проектной деятельности. Выполнение проектов, их презентация и защита способствуют дальнейшему формированию субъектной позиции студента [11].

Интеграция учебной деятельности осуществляется на стыке проектировочных и специальных дисциплин. В этот период обучения доминируют продуктивные, активно-творческие методы обучения, предполагающие самостоятельную и творческую деятельность проблемно-практического характера. Результатами данного этапа обучения становятся ценностно-смысловое самоопределение студента, развитие профессиональной мотивации, высокий уровень активизации учебной деятельности студента, сформированность его личностного отношения к самообразованию и самосовершенствованию.

Результаты эксперимента показали, что предлагаемый подход способствует успешной подготовке бакалавров в области техники и технологий к будущей проектно-конструкторской деятельности. Такой подход направлен на учет особенностей будущей профессиональной деятельности специалистов и формирование в их трудовых коллективах способности к естественной адаптации и быстрому освоению технологий, требующих знаний в области современной науки.

Заключение

1. Заключительным этапом подготовки студентов к проектно-конструкторской деятельности является выполнение ими выпускной квалификационной работы, которая представляет собой профессионально-ориентированный проект.

2. Каждый этап обучения может включать в себя мотивационно-ориентирующий, интеллектуально-познавательный, деятельностно-практический или рефлексивно-оценочный подэтапы, которые наполняются различным содержанием, сопровождаются выбором соответствующих технологий обучения, характеризуются развитием и формированием структурных компонентов учебной деятельности, а также изменением самого студента, как субъекта учебной деятельности. Помимо этого, каждому этапу процесса формирования проектно-конструкторских компетенций соответствует определенный уровень процесса интеграции графических, общепрофессиональных и специальных дисциплин.

Список литературы

1. Вехтер, Е. В. Развитие проектно-конструкторских компетенций бакалавров технического профиля / Е. В. Вехтер. Томск, 2012.
2. Разуменко, И. А. Активизация учебной деятельности студентов художественно-графических факультетов на основе интегративного подхода / И. А. Разуменко. Новосибирск, 2009.
3. Хакимов, Ж. О. Совершенствование информационно-коммуникационной подготовки будущих преподавателей профессионального образования на основе средств компьютерного проектирования / Ж. О. Хакимов. Ташкент: Lesson Press, 2023.
4. Decision Making Process in Selection of Group Leader / B. Tulaev [et al.] // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2020. Vol. 7, Iss. 1. P. 12500–12504.
5. Khakimov, J. O. Improvement of Methodical Basis of Information Communication Preparation Based on a Computer Designing Tools / J. O. Khakimov // European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences. 2020. Vol. 8, No 2. P. 94–101.
6. Developing Competencies in the Development of Information and Communication Technologies / B. Tulaev [et al.] // Journal of Critical Reviews. 2020. Vol. 7, Iss. 2. P. 296–298.
7. Modern View of the Teacher on Independent Activity of Students / D. O. Khimmataliev [et al.] // Journal of Positive School Psychology. 2022. Vol. 6, No 3. P. 1647–1657.
8. Criteria and Indicators for Assessing the Level of Professional Training of Future Teachers of Vocational Training at a Training Module / D. Khimmataliev [et al.] // Journal of Critical Reviews. 2020. Vol. 7, Iss. 5. P. 428–431.
9. Хакимов, Ж. О. Информационно-предметное обеспечение учебной дисциплины / Ж. О. Хакимов // Вопросы совершенствования профессионально-технического образования в центральноазиатских республиках: Междунар. науч.-практ. конф. Туркестан, 2011. С. 251–255.
10. Хакимов, Ж. О. Дидактика применения информационных и коммуникационных технологий в образовательном процессе / Ж. О. Хакимов // Перспективы и проблемы профессионального образования в центральноазиатских странах: Междунар. науч.-практ. конф. Бишкек, 2012. С. 108–111.
11. Хакимов, Ж. О. Потребности современного рынка труда – новые тенденции профессионального образования / Ж. О. Хакимов // Перспективы и проблемы профессионального образования в центральноазиатских странах: Междунар. науч.-практ. конф. Бишкек, 2012. С. 112–115.

References

1. Vekhter E. V. (2012) *Development of Design and Engineering Competencies of Technical Bachelors*. Tomsk (in Russian).
2. Razumenko I. A. (2009) *Activation of Educational Activities of Students of Art and Graphic Faculties Based on an Integrative Approach*. Novosibirsk (in Russian).
3. Khakimov J. O. (2023) *Improvement of Information and Communication Training of Future Teachers of Vocational Education on the Basis of Computer Design Tools*. Tashkent, Lesson Press Publ. (in Russian).
4. Tulaev B., Khakimov J. O., Daminov O., Mirzaabdullaev J. (2020) Decision Making Process in Selection of Group Leader. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 7 (1), 12500–12504.
5. Khakimov J. O. (2020) Improvement of Methodical Basis of Information Communication Preparation Based on a Computer Designing Tools. *European Journal of Research and Reflection in Educational Sciences*. 8 (2), 94–101.
6. Tulaev B., Khakimov J., Daminov O., Turdiev J. (2020) Developing Competencies in the Development of Information and Communication Technologies. *Journal of Critical Reviews*. 7 (2), 296–298.
7. Khimmataliev D. O., Kiyamov N. S., Chudakova V. P., Khashimova M. K., Khakimov J. O., Berdialieva G. A. (2022) Modern View of the Teacher on Independent Activity of Students. *Journal of Positive School Psychology*. 6 (3), 1647–1657.
8. Khimmataliev D., Khakimov J., Daminov O., Rakhmatova F. (2020) Criteria and Indicators for Assessing the Level of Professional Training of Future Teachers of Vocational Training at a Training Module. *Journal of Critical Reviews*. 7 (5), 428–431.
9. Khakimov J. O. (2011) Information-Subject Support of Educational Discipline. *Issues of Improving Vocational Education in the Central Asian Republics, International Scientific-Practical Conference, Turkestan*. 251–255 (in Russian).
10. Khakimov J. O. (2012) Didactics of Application of Information and Communication Technologies in the Educational Process. *Prospects and Problems of Professional Education in Central Asian Countries, International Scientific and Practical Conference, Bishkek*. 108–111 (in Russian).
11. Khakimov J. O. (2012) Needs of the Modern Labor Market – New Trends in Vocational Education. *Prospects and Problems of Vocational Education in Central Asian Countries, International Scientific and Practical Conference, Bishkek*. 112–115 (in Russian).

Вклад авторов

ХАКИМОВ Ж. О. осуществил постановку задачи для проведения исследования.
РАХМАТОВА Ф. М. изготовила образцы, подготовила рукопись статьи.

Authors' contribution

Khakimov J. O. carried out the problem statement for the research.
Rakhmatova F. M. made the samples, prepared the manuscript of the article.

Сведения об авторах

ХАКИМОВ Ж. О., д-р филос. по педаг. наукам, доц., проф., Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

РАХМАТОВА Ф. М., ст. преп., Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Information about the authors

Khakimov Zh. O., Dr. of Philosophy in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

Rakhmatova F. M., Senior Lecturer, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov

Адрес для корреспонденции

100095, Республика Узбекистан,
г. Ташкент, ул. Университетская, 2
Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова
Тел.: +998 71 207-09-80
E-mail: khakimov-jamshid@mail.ru
ХАКИМОВ ЖАМШИД ОКТЯМОВИЧ

Address for correspondence

100095, the Republic of Uzbekistan,
Tashkent, Universitetskaya St., 2
Tashkent State Technical University
named after Islam Karimov
Tel.: +998 71 207-09-80
E-mail: khakimov-jamshid@mail.ru
Khakimov Zhamshid Oktyamovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-16-23>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 372.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ В ХОДЕ ГИБРИДНОГО ОБУЧЕНИЯ

О. Л. АХРЕМЧИК, А. Р. ХАБАРОВ

Тверской государственный технический университет (г. Тверь, Российская Федерация)

Поступила в редакцию 18.03.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Рассмотрены трудности и задачи использования программного обеспечения при применении технологий гибридного обучения проектированию цифровых устройств. Определен состав изучаемого устройства. Показатели качества обучения связаны с выбором программного обеспечения на примере степени удовлетворенности результатом проектирования. Выделены модули программного обеспечения для разработки цифровых устройств. Программное обеспечение разрабатываемого устройства рассмотрено как составляющая лабораторного практикума. Отмечена особенность гибридного обучения, связанная со сложностью макетирования и с необходимостью обеспечения совместимости файлов проекта, созданных в онлайн-режиме, с программными модулями компьютера в лаборатории университета. Предложено создать базу данных учебных проектов для обеспечения преемственности проектирования и формирования стартап-проектов. Приведен пример результатов проектирования цифрового устройства индикации и контроля технологического параметра. Выделены сложности при использовании интегральных схем отечественного производства в учебном проектировании. Рекомендовано проводить гибридное обучение проектированию цифровых устройств в малых группах.

Ключевые слова: гибридное обучение, программное обеспечение, процесс, разработка, цифровое устройство, практикум, проект, результат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Ахремчик, О. Л. Использование программного обеспечения при проектировании цифровых устройств в ходе гибридного обучения / О. Л. Ахремчик, А. Р. Хабаров // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 16–23. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-16-23>.

SOFTWARE USING IN DIGITAL DESIGN UNDER HYBRID TRAINING

OLEG L. AKHREMCHIK, ALEXEI R. CHABAROV

Tver State Technical University (Tver, Russian Federation)

Submitted 18.03.2024

Abstract. The difficulties and tasks of using software when applying hybrid learning technologies in the design of digital devices are considered. The composition of the device under study has been determined. Indicators of training quality are associated with the choice of software using the example of the degree of satisfaction with the design result. Software modules for the development of digital devices have been identified. The software of the device being developed is considered as a component of a laboratory workshop. A feature of hybrid learning is noted that is associated with the complexity of prototyping and the need to ensure compatibility of project files

created online with computer software modules in the university laboratory. It is proposed to create a database of educational projects to ensure continuity in the design and formation of start-up projects. An example of the design results of a digital device for indicating and monitoring a process parameter is given. The difficulties when using domestically produced integrated circuits in educational design are highlighted. It is recommended to conduct hybrid training in the design of digital devices in small groups.

Keywords: hybrid training, software, process, project, digital device, practicum, design, result.

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

For citation. Akhremchik O. L., Chabarov A. R. (2024) Software Using in Digital Design Under Hybrid Training. *Digital Transformation*. 30 (2), 16–23. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-16-23> (in Russian).

Введение

Цифровая трансформация промышленности Союзного государства России и Беларуси является стратегической задачей, которая предусматривает повсеместное применение цифровых устройств и форматов обработки данных в ходе конструкторско-технологической подготовки производства и собственно производственного процесса [1]. Наличие персонала, способного разрабатывать, внедрять и эффективно применять цифровые устройства, – один из компонентов индекса цифровой зрелости промышленности в целом и отдельных отраслей и предприятий в частности.

В рамках смены образовательных парадигм в настоящее время учебный процесс характеризуется набором компетентностных моделей. В ходе обучения в техническом университете у обучаемых должен сформироваться пул компетенций, обеспечивающих подготовку, функционирование и обновление цифрового производства. Вербально требования компетенций могут быть представлены в виде: «Способен разрабатывать алгоритмы и программы, пригодные для практического применения», «Способен осваивать методики применения программных средств для решения практических задач». Формирование компетенций при обучении осуществляется в ходе самостоятельной работы при курсовом проектировании и работы под контролем преподавателя во время лабораторных практикумов.

Широкое применение сегодня получает гибридное обучение с применением дистанционных технологий. В условиях такого обучения большая часть взаимодействия членов проектных команд обеспечивается в дистанционном режиме. При отсутствии научно-обоснованных методик к выбору компонентов практикума дистанционное взаимодействие может быть причиной недостатков, снижающих эффективность образовательных систем и мотивацию к их использованию [2]. Выбор программного обеспечения (ПО) для учебного процесса во многом определяет результаты и эффективность обучения. С учетом высокой скорости развития компьютерных систем и технологий цифровизации обновление ПО в университете происходит непрерывно.

Предмет исследования авторов – процессы модернизации и использования лабораторной базы регионального технического университета. В качестве объекта исследования рассмотрен состав ПО для самостоятельной работы и проведения практикумов при проектировании цифровых устройств.

Процесс модернизации лабораторного оборудования происходит в условиях жестких ограничений на бюджет учебного времени и финансовые ресурсы, на содержание учебно-материальной базы и приобретение ПО [3]. Во многих случаях версии программных продуктов на гаджетах удаленных пользователей (как студентов, так и преподавателей) не совпадают с полнофункциональными версиями в лабораториях и производственных цехах. Поэтому детальный подход к выбору и использованию ПО крайне важен.

Цифровое устройство как объект учебного проектирования

Цифровые устройства служат базисом для построения автоматизированных, автоматических, интеллектуальных распределенных систем, используемых для управления и автоматизации производственных процессов всех отраслей промышленности. Цифровые устройства осуществляют получение, обработку, хранение и передачу информации, имеют свою архитектуру (новое по отношению к применявшимся ранее техническим устройствам свойство, определяющее наличие

ПО в устройстве) и требуют для функционирования наличия программной среды (платформы). Среда обеспечивает реализацию правил преобразования, протоколов архивации и передачи данных о состоянии предметов и продуктов труда.

Под цифровым, по мнению авторов статьи, можно понимать запрограммированное на реализацию и модификацию определенного алгоритма устройство, состоящее из больших (сверхбольших) интегральных схем (СБИС). В качестве СБИС могут применяться программируемые логические матрицы, микроконтроллеры, микроЭВМ. В состав устройства входят: преобразователь последовательного интерфейса передачи данных; модули оперативной и постоянной памяти; модули для формирования сигналов с поддержкой звукового формата; модули обработки сигналов; аналого-цифровые преобразователи; компараторы; счетчики, таймеры и построенные на их базе генераторы. Соединение реального цифрового устройства с компьютером в лаборатории обеспечивается по интерфейсу USB без промежуточного хоста [4]. Разрядность и тактовая частота работы устройства могут быть любыми.

В результате выполнения учебного проекта обязательным является предоставление комплекта документации на разрабатываемое устройство. Построение и демонстрация действующего макета повышают степень удовлетворенности результатами обучения как со стороны студентов, так и со стороны преподавательского состава. Поэтому на факультете информационных технологий Тверского государственного технического университета (ТГТУ) создаются условия для изготовления работоспособного макета, что при гибридном обучении требует дополнительных усилий.

Курсовое проектирование при гибридном обучении проектированию цифровых устройств выполняется без наличия макетных и отладочных плат у пользователей, и не всегда разработка ведется в тех средах, которые установлены на компьютерах в университете. Создание технической документации и макетов цифровых устройств при учебном проектировании схоже с процессом создания ИТ-продуктов [5]. Курсовые работы и проекты могут рассматриваться в качестве мини-ИТ-проектов с минимальным набором требований, а отсутствие единой среды программирования и отладочных плат является одним из факторов, влияющих на неблагоприятный ход выполнения и завершения проектов [5].

Целевая функция обучения проектированию цифровых устройств определяется через множество показателей качества процесса обучения. Гибридное обучение предоставляет дополнительные преимущества, связанные с возможностью планирования и рационального использования бюджета времени выполнения проекта. Показатели качества являются основными при выборе ПО для учебных и исследовательских лабораторий [6]. Сложность выбора и использования программ заключается в том, что работать команде проектировщиков приходится не только в локальной сети университета, но и дистанционно через глобальную сеть по клиент-серверной технологии. Поэтому качество сервиса при функционировании канала связи имеет значение. При этом используемое ПО должно поддерживать режим авторизации каждого пользователя и обеспечивать надежное хранение промежуточных и окончательных результатов проектирования [7].

Состав программного обеспечения

Используемое в практикумах для разработки цифровых устройств ПО делится на общее и специальное. Общее ПО представляет собой совокупность программ, поставляемых в комплекте с компьютером. В состав общего ПО входит операционная система (ОС) (системное ПО). Также к общему ПО относится комплект программ для администрирования и организации учебного процесса. Функции организации проектирования включают: формирование и представление учебного материала, заданий на этапах работы, тестов для проверки знаний; наблюдение за успеваемостью, процессом изучения контента; проверку результатов с отправкой разделов на исправление; ведение журналов и заполнение отчетов [8].

Специальное ПО включает множество программных модулей, устанавливаемых в конкретной конфигурации компьютера для разработки проекта. В качестве составляющей специального ПО рассматривается прикладная программа пользователя для функционирования разрабатываемого устройства. Драйверы и компиляторы для отладочных модулей обязательно входят в состав специального ПО.

Разрабатываемое в ходе обучения ПО, обеспечивающее функционирование устройств, является переменной составляющей практикума, но на его основе формируется факультетская база данных проектов, которая позволяет обеспечить преемственность разработок и создать условия для подготовки старт-апов, пригодных для коммерческого использования. В процессе гибридного обучения большую роль играет выбор платформ для проведения практикумов. Практикум должен предусматривать как симуляцию, так и отладку реального устройства на компьютере лабораторного стенда. В ходе планирования гибридного обучения разработке цифровых устройств можно выделить задачи: организация разработки и симуляция устройства в офлайн-режиме; программирование и демонстрация работы устройства как в лаборатории, так и дистанционно; обсуждение результатов работы в проектной группе.

В задаче выбора системного ПО для технологий гибридного обучения в качестве ограничитель рассматривается число компьютеров и гаджетов, способных функционировать под управлением выбранной ОС. Актуальным на сегодняшний день является переход на отечественное системное программное обеспечение. В то же время используемые обучающимися программно-технические средства, как правило, комплектуются импортной ОС. Исходя из того, что выбранная для компьютеров лабораторий технического университета ОС должна отвечать запросам обучающихся, партнеров-работодателей, научно-техническому уровню промышленных систем, при гибридном обучении на компьютер в лаборатории целесообразно устанавливать несколько ОС (или использовать в практикуме несколько компьютеров с разным системным ПО). Среды программирования и отладки цифровых устройств должны быть кросс-платформенными.

В ходе проведения практикумов на факультете информационных технологий ТГТУ выявлено, что выбор отечественного системного ПО влечет за собой невозможность использовать виртуальные среды измерения и моделирования, отладки и диагностирования, применяемые ранее в лабораторных практикумах, курсовом и дипломном проектировании (например, LabVIEW, MAX II, Keil, Multisim, Proteus и др.). Отмеченные особенности снижают потенциал формирования устойчивых практических навыков для получения необходимых компетенций по разработке и программированию цифровых устройств. Так, при установке операционной системы РЕД ОС (Россия) практически оказались недоступными все драйверы, используемые ранее для работы с макетными платами, программаторами и измерительным оборудованием.

Предлагаемое производителями сегодня лабораторное оборудование продолжает ориентироваться на модификации ОС Windows (например, лабораторный стенд «Микроконтроллер PIC» для изучения микропроцессорной техники). Выбор специального программного обеспечения для учебного практикума зачастую определяется характеристиками ПО, а не свойствами разрабатываемого устройства и технологиями обучения [9]. Входящая в состав архитектуры цифрового устройства система команд должна поддерживаться используемой программной средой, что отвечает принципу совместимости. Оборудование практикума должно также соответствовать требованиям технической, программной и информационной совместимостей.

Учитывая большое разнообразие прикладных программ, используемых при проектировании и отладке цифровых устройств, сформируем требования к составу специального ПО. В ПО должны входить: текстовый и графический редакторы, базы данных устройств и проектов, редактор временных диаграмм, средства конфигурации топологии цифрового устройства. Дополнительно в состав ПО включаются: блок работы со списками соединений, обработчик, модуль проверки логики работы, разделитель, разводчик.

В ходе верификации схемных решений в составе специального ПО используются: симулятор, анализатор временных диаграмм с возможностью их редактирования, компилятор. Работа в процессе учебного практикума невозможна без встроенного ассемблера и базы данных разделов проекта. Следует отметить, что файлы, описывающие функционирование разрабатываемого устройства, имеют разные форматы одного содержания (машинный код, листинг на C, листинг на ассемблере) и сопровождаются дополнительными файлами. После трансляции разработанного программного кода обучающимися исследуются временные диаграммы работы, производится верификация разработки и формируются отчеты.

Наличие перечисленных компонентов ПО отражается в цифровом паспорте лаборатории, который доступен студенту для определения набора требований к составу индивидуальных аппаратного и программного обеспечений, необходимых для учебного проектирования при гибридном обучении.

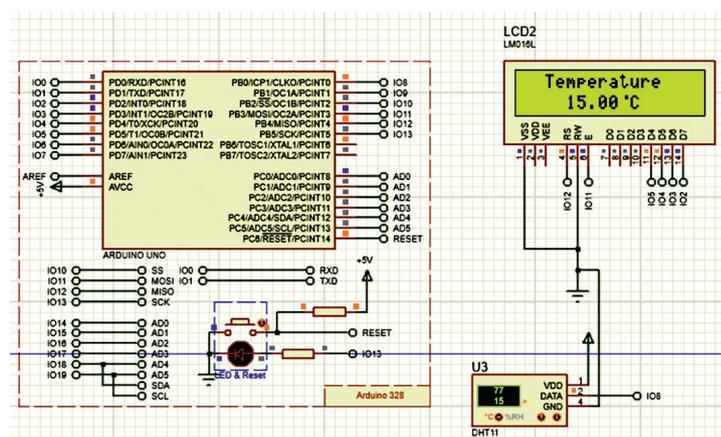
ном обучении. Анализ требований позволяет четко спланировать график посещения и планы занятий в условиях неполного комплекта ПО.

Отчеты о работе в традиционной модели обучения представляются в виде набора документации, временных диаграмм и экранных форм, полученных в ходе моделирования спроектированного устройства в режиме симуляции. Приложением к отчету, повышающим качество проектирования, является работающий физический макет устройства.

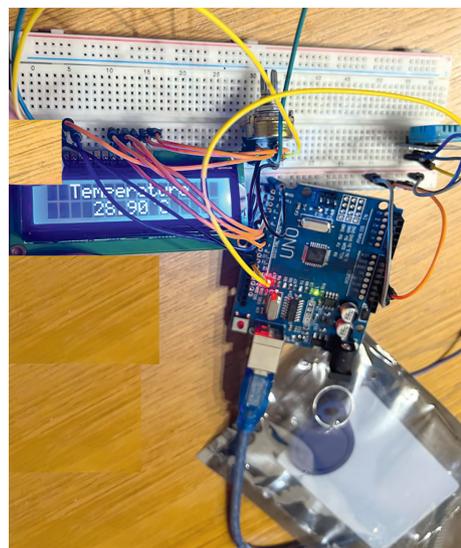
В гибридной технологии обучения предполагается, что студенты, подключающиеся к работе в онлайн-режиме или выполняющие работу самостоятельно, предоставляют только отчет. Моделирование может проводиться либо на гаджете обучаемого в удаленном режиме, либо на компьютере лаборатории в дистанционном режиме с обсуждением получаемых результатов в группе. Макетирование на отладочной плате в онлайн проводится либо преподавателем, либо коллегами по группе. Соответственно в общее программное обеспечение обязательно включаются программы для создания и функционирования видеоконференций, вебинаров. План проведения занятия должен предусматривать операции настройки канала связи, подключения к компьютеру преподавателя, передачу управления удаленному пользователю.

Практика использования программного обеспечения

При организации дистанционного режима работы участникам образовательного процесса необходимо найти компромисс между большим числом деталей для рассмотрения при меньшем угле обзора и большей ширине зоны обзора камеры, при большем угле обзора, позволяющий уменьшить число камер, используемых в сеансе связи. Исходя из практики применения технологий гибридного обучения в ТГТУ при проектировании цифровых устройств дополнительно выделена задача обмена файлами, созданными удаленно с помощью специального ПО с последующим активированием содержимого и получением работающего устройства на макетной плате в лаборатории. Соответственно на гаджете обучаемого должны быть установлены симулятор и компилятор для используемых в макетах СБИС. Симуляция работы проводится удаленно обучаемым (рис. 1, а), а отладка устройства осуществляется в лаборатории (рис. 1, б). Передаваемые файлы должны функционировать совместно с операционной системой, установленной на компьютере университета. Совместное использование симуляции и макетирования позволяет повысить степень удовлетворенности процессами разработки и обучения.



а



б

Рис. 1. Результаты учебного проектирования цифрового устройства контроля и индикации технологического параметра: а – результат симуляции на удаленном устройстве члена проектной группы; б – макет устройства в лаборатории

Fig. 1. The results of the educational design of a digital device for monitoring and indicating a technological parameter: а – result of modeling on a remote device of a member of the design team; б – layout of the device in the laboratory

Особенности применения ПО при гибридном обучении состоят в том, что необходима дополнительная кодировка файлов в форматы, читаемые пользователем в разных программных средах и ОС; при оценке результатов работы часто рассматриваются отчеты без моделирования и функционирования макета цифрового устройства в лаборатории. По мнению авторов, сложности в модели гибридного обучения вызваны тем, что желательным является применение в качестве основы цифровых устройств СБИС производства Союзного государства России и Беларуси (например, K1921BK01T). Доминирующий фактор – тип процессорного ядра. Так, выбор ядра ARM Cortex-M3/M4/M4F позволяет изучать одновременно СБИС импортного и российского производства. В условиях гибридного обучения отчет о моделировании работы устройства можно представить для одной СБИС, а макетирование в лаборатории провести на другой. Обучаемый получает навыки сравнительного анализа режимов работы цифрового устройства.

Апробация расширенных дидактических приемов гибридного обучения проведена авторами в ходе выполнения работ по дисциплинам «Технические средства автоматизации и управления», «Цифровая схемотехника» и «Микропроцессорные системы» для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника» в период 2021–2023 гг. Проектирование завершилось расчетом индивидуальных показателей CSAT (Customer Satisfaction) и CDSAT (Customer Dissatisfaction). За три года использования технологий гибридного обучения произошел рост значения индекса удовлетворенности организацией и содержанием обучения со стороны студентов, рассчитанного на основе анкетирования, проведенного в конце разработки учебного проекта. В анкету был включен вопрос ранжирования обучаемыми программных сред, используемых при проектировании. ПО с наивысшим рейтингом продолжает использоваться в учебном процессе. Программа с минимальным рейтингом подлежит замене в ходе обновления и модернизации лабораторного оборудования.

Трансформация высшего образования, его подстройка под запросы студентов и работодателей требуют применения новых моделей и технологий обучения. Быстрое обновление элементной базы цифровых устройств не позволяет комплектовать университеты актуальными сегодня программно-текущими средствами. Используемые при гибридном обучении модели позволяют на основе кооперации лабораторий ведущих и региональных университетов предоставлять дополнительные возможности обучаемым для выбора при проектировании комплектов СБИС и верификации устройств.

Целесообразным в условиях гибридного обучения для создания одного устройства является составление малых групп, работающих по принципу проектного обучения. Кроме получения навыков командной деятельности, разработка может стать основой в поиске финансирования для доведения устройства до коммерческой эксплуатации в виде стартапа. Обмен промежуточными результатами разработки между членами группы происходит в дистанционном формате. Это выявляет недостатки кодирования и представления информации, необходимой как для учебного процесса, так и для поддержки этапа будущей эксплуатации.

Заключение

1. Задача выбора состава программного обеспечения для проведения самостоятельной работы и практикумов по проектированию цифровых устройств решается постоянно при наличии жестких финансовых и временных ограничений. Также к ограничениям относится число компьютеров и гаджетов, способных функционировать под управлением используемой операционной системы. Выбор программного обеспечения для лабораторий осуществляется на основе рассмотрения показателей качества обучения. В условиях гибридного обучения значительное внимание уделяется графику работ и бюджетированию времени работы над проектом.

2. Проектируемые цифровые устройства содержат модули формирования и обработки сигналов, памяти, передачи данных, прикладные программы. Разработка учебной документации сопровождается отладкой макетов устройств как в лабораториях университета, так и в онлайн-режиме. Представление работающего физического макета устройства в условиях гибридного обучения повышает степень удовлетворенности результатами обучения.

3. В состав программного обеспечения для гибридного обучения проектированию цифровых устройств входит общее и специальное программное обеспечение. К общему относятся опера-

ционная система и программы для организации учебного процесса (в том числе по созданию и функционированию каналов связи, проведению видеоконференций). На компьютерах учебной лаборатории рекомендуется устанавливать несколько операционных систем. Программное обеспечение проектируемых устройств входит в состав специального программного обеспечения, и результаты проектирования сохраняются в базу данных учебных проектов для последующего применения. Основой специального программного обеспечения являются кросс-платформенные программные среды для создания проектов, написания кода, отладки и симуляции макетов цифровых устройств.

4. Четкое представление о составе и сложностях применения программного обеспечения в условиях гибридного обучения позволяет дополнять методику обучения приемами, способными сократить негативное влияние факторов отложенного макетирования и несовместимости составляющих программного обеспечения при формировании требуемых для разработки цифровых устройств компетенций.

Список литературы

1. Балахонова, И. В. Оценка цифровой зрелости как первый шаг цифровой трансформации процессов промышленного предприятия / И. В. Балахонова. Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2021.
2. Условия эффективного применения и развития дистанционных образовательных технологий в высшей школе и дополнительном образовании взрослых / В. А. Гайсенек [и др.] // *Цифровая трансформация*. 2022. Т. 28, № 4. С. 5–11. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-5-11>.
3. Лобатый, А. А. Оптимизация структуры учебного процесса при заданных ограничениях / А. А. Лобатый, Д. А. Конопацкий // *Системный анализ и прикладная информатика*. 2023. № 4. С. 69–73. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-4-69-73>.
4. Ахремчик, О. Л. Российский микроконтроллер для практикума по микропроцессорным системам / О. Л. Ахремчик, А. Р. Хабаров // *Трансформация механико-математического и IT-образования в условиях цифровизации: сб. матер. Межд. науч.-практ. конф.* Минск: Белор. гос. ун-т, 2023. С. 167–171.
5. Салапура, М. Н. Проблемы управления курсовым проектированием при формировании профессиональных компетенций IT-специалистов / М. Н. Салапура, В. Н. Комличенко // *Цифровая трансформация*. 2022. Т. 28, № 3. С. 35–42. <https://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-3-35-42>.
6. Ермаков, С. А. Выбор программного обеспечения для испытательной лаборатории / С. А. Ермаков, Ю. О. Яцына // *Сервис+*. 2021. Т. 15, № 4. С. 96–102. DOI: 10.24412/2413-693X-2021-15-4-96-102.
7. Петухов, А. В. Цифровая трансформация курсового проектирования в условиях пандемии / А. В. Петухов // *Цифровая трансформация*. 2022. Т. 28, № 4. С. 53–61. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-53-61>.
8. Попова, Ю. Б. Автоматизированная система CATS для дистанционного обучения / Ю. Б. Попова // *Системный анализ и прикладная информатика*. 2021. № 3. С. 67–75. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2021-3-67-75>.
9. Многокритериальный выбор оптимального комплекса программных средств для управления технологическим оборудованием / Е. В. Ожогова [и др.] // *Современные наукоемкие технологии*. 2022. № 10-1. С. 25–31. DOI: 10.17513/snt.3934.

References

1. Balachonova I. V. (2021) *Assessment of Digital Maturity as the First Step in the Digital Transformation of Industrial Enterprise Processes*. Penza, Penza State University (in Russian).
2. Gaisenok V. A., Maximov S. I., Klishevich N. S., Brezgunova I. V. (2022) Conditions for the Effective Use and Development of Distance Learning Technologies in Higher Education and Further Education of Adults. *Digital Transformation*. 28 (4), 5–11. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-5-11> (in Russian).
3. Lobaty A. A., Konopacki D. A. (2023) Optimization of the Structure of the Learning Process Under the Given Constraints. *System Analysis and Applied Information Science*. (4), 69–73. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2023-4-69-73> (in Russian).
4. Akhremchik O. L., Chabarov A. R. (2023) Russian Microcontroller for a Workshop on Microprocessor Systems. *Transformation of Mechanical, Mathematical and IT Education in the Context of Digitalization, Col. of Materials of the Int. Scientific and Practical Conference*. Minsk, Belarusian State University. 167–171 (in Russian).
5. Salapura M. N., Komlichenko V. N. (2022) Problems of Course Design Management in the Formation of Professional Competencies of IT Specialists. *Digital Transformation*. 28 (3), 35–42. <https://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-3-35-42> (in Russian).

6. Ermakov S. A., Yatsyna Yu. O. (2021) Variety of Software for the Testing Laboratory. *Service Plus*. 15 (4), 96–102. DOI: 10.24412/2413-693X-2021-15-4-96-102 ((in Russian).
7. Petukhov A. V. (2022) Digital Transformation of a Course Design in the Context of Pandemic. *Digital Transformation*. 28 (4), 53–61. <https://doi.org/10.35596/1729-7648-2022-28-4-53-61> (in Russian).
8. Popova Y. B. (2021) Automated CATS System for Distance Learning. *System Analysis and Applied Information Science*. (3), 67–75. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2021-3-67-75> (in Russian).
9. Ozhogova E. V., Lubentsova E. V., Lubentsov V. F., Levchenko V. I. (2022) Multi-Criteria Selection of the Optimal Software Package for Control for Technological Equipment. *Modern High-Tech Technologies*. (10-1), 25–31. DOI: 10.17513/snt.3934 (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Ахремчик О. Л., д-р техн. наук, доц., проф. каф. автоматизации технологических процессов, Тверской государственный технический университет

Хабаров А. Р., канд. техн. наук, доц., декан факультета информационных технологий, Тверской государственный технический университет

Адрес для корреспонденции

170026, Российская Федерация,
г. Тверь, набережная Афанасия Никитина, 22
Тверской государственный
технический университет
Тел.: +7 4822 78-93-38
E-mail: axremchic@mail.ru
Ахремчик Олег Леонидович

Information about the authors

Akhremchik O. L., Dr. of Sci. (Tech.), Associate Professor, Professor at the Department of Process Automation, Tver State Technical University

Chabarov A. R., Cand. of Sci., Associate Professor, Dean of the Faculty of Information Technologies, Tver State Technical University

Address for correspondence

170026, Russian Federation,
Tver, Afanasy Nikitin Embankment, 22
Tver State
Technical University
Tel.: +7 4822 78-93-38
E-mail: axremchic@mail.ru
Akhremchik Oleg Leonidovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-24-32>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 378+378, 164/169

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ КАК ОСНОВА УСПЕШНОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

И. И. ШПАК¹, С. Н. КАСАНИН², А. С. СТЕПАНЕЦ³

¹Институт информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск, Республика Беларусь)

²Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси (г. Минск, Республика Беларусь)

³ООО «Ю-Сан форс» (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 27.03.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Исследовано определяющее влияние эффективности и качества систем образования на все сферы человеческой деятельности: экономическую, социальную, общественно-политическую, бытовую и духовную. Рассмотрены важнейшие условия и проанализированы основные пути, позволяющие существенно повысить эффективность современного профессионального образования при одновременном повышении его качества. Обоснована необходимость использования адаптивных образовательных технологий, показаны особенности алгоритмизации процесса адаптивного обучения с целью повышения его качества, проанализированы пути создания эффективной модели профессиональной области для адаптивных образовательных систем. Для выбора этих путей применялся метод сравнительного анализа. Проиллюстрированы возможности создания современных адаптивных систем профессионального обучения на основе использования концепции Международной организации труда «Модули трудовых компетенций». Приведены примеры результатов, полученных в процессе многолетней профессиональной деятельности.

Ключевые слова: адаптивное образование, индивидуализация обучения, модульные технологии, предметно-урочный подход, деятельностный подход, цифровизация экономики.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Шпак, И. И. Повышение эффективности и качества образования как основа успешной цифровизации экономики / И. И. Шпак, С. Н. Касанин, А. С. Степанец // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 24–32. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-24-32>.

IMPROVING THE EFFICIENCY AND QUALITY OF EDUCATION AS THE BASIS FOR SUCCESSFUL DIGITALIZATION OF THE ECONOMY

IVAN I. SHPAK¹, SERGEI N. KASANIN², ANDREY S. STEPANETS³

¹Institute of Information Technologies of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

²The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

³Yu-San Force LLC (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 27.03.2024

Abstract. The determining influence of the effectiveness and quality of education systems on all spheres of human activity has been studied: economic, social, socio-political, everyday and spiritual. The most important conditions are considered and the main ways are analyzed to significantly increase the efficiency of modern vocational

education while simultaneously improving its quality. The necessity of using adaptive educational technologies is substantiated, the features of algorithmization of the adaptive learning process are shown in order to improve its quality, and ways of creating an effective model of the professional field for adaptive educational systems are analyzed. The comparative analysis method was used to select these paths. The possibilities of creating modern adaptive vocational training systems based on the use of the concept of the International Labor Organization “Labor Competency Modules” are illustrated. Examples of results obtained during many years of professional activity are given.

Keywords: adaptive education, individualization of learning, modular technologies, subject-based approach, activity approach, digitalization of economy.

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

For citation. Shpak I. I., Kasanin S. N., Stepanets A. S. (2024) Improving the Efficiency and Quality of Education as the Basis for Successful Digitalization of the Economy. *Digital Transformation*. 30 (2), 24–32. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-24-32> (in Russian).

Введение

Развитие экономики Беларуси на всех этапах, а ее цифровизация в особенности, напрямую зависят от кадрового потенциала, которым располагает страна. Кадровое обеспечение не только всех отраслей экономики, но и социальной сферы, быта, здравоохранения, образования и культуры, определяется состоянием и уровнем системы образования – общего, специального, педагогического, медицинского, академического и в особенности профессионального.

При поиске и анализе путей повышения качества профессионального образования не всегда учитывается непреложный факт зависимости направлений и содержания образования от требований рынка труда. Это означает, что система профессионального образования для того, чтобы быть успешной и востребованной, должна адаптироваться к требованиям динамичного рынка труда (можно сказать о некоем системном адаптировании). Подтверждением тому служит активная деятельность Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) [1]. В ежегодных докладах ОЭСР содержатся результаты анализа изменений конъюнктуры рынка труда, которые необходимо учитывать при организации профессионального образования будущих специалистов. В докладе 2023 г. отмечается состояние напряженности мирового рынка труда и высказываются опасения, что быстрое развитие искусственного интеллекта может существенно повлиять на рабочие места, а значит, – на профессиональное образование.

Кроме обозначенного целостного или системного адаптирования профессионального образования, как целостной системы к потребностям рынка труда, сам образовательный процесс, чтобы быть наиболее эффективным и качественным, также должен быть адаптивным. Убедительным подтверждением этому может служить одно из положений документа, определяющего стратегию развития и совершенствования национальной системы образования [2], где провозглашено: «К одной из основных тенденций развития образования в мире можно отнести ориентацию на личность обучающегося в целях наиболее полного раскрытия его способностей и удовлетворения его образовательных потребностей». Речь идет, конечно, об адаптивном обучении.

Сама идея адаптивного обучения берет начало из глубокой древности. Древнегреческие, еврейские и китайские трактаты свидетельствуют, что уже в первом веке до нашей эры [3] предпринимались первые попытки адаптировать процесс накопления человеком знаний об окружающем мире, или же адаптировать процесс обучения, с одной стороны, к возможностям обучающегося, а с другой – к потребностям в этих знаниях. Основы педагогической теории адаптивного обучения были заложены великим педагогом Я. А. Коменским [4], который сформулировал педагогические принципы классно-урочной системы обучения, являющиеся, по сути своей, основой адаптивных систем обучения.

Актуальность адаптивного обучения в наше время стремительно растет. Вызвано это тем, что информатизация, цифровизация и широкое применение искусственного интеллекта, активно проникая во все сферы человеческой деятельности, существенно увеличивают возможности и облегчают реализацию адаптивного образовательного процесса на различных уровнях: дошкольного и общего среднего образования, профессионально-технического и среднего специального, а также высшего образования.

Алгоритмизация процесса адаптивного обучения

Реализация современной системы адаптивного обучения на любом из образовательных уровней, будь то обучение дошкольников или получение высшего образования, предполагает первоочередное решение триединой задачи – определение что, к чему и каким образом адаптировать. Современный подход к решению этой непростой и многоэтапной задачи предполагает:

- создание модели системы адаптивного обучения;
- разработку на ее основе алгоритма функционирования системы;
- разработку аппаратно-программного комплекса, с помощью которого адаптивное обучение реализуется [3].

Здесь необходимо учитывать, что любое профессиональное обучение, как традиционное, так и адаптивное, заключается в конечном счете:

- в подготовке необходимого для изучения объема учебного материала или в формировании содержания профессионального обучения;
- в полном усвоении обучающимся учебного материала, дальнейшем закреплении полученных знаний, в формировании навыков и компетенций, необходимых для будущей профессиональной деятельности.

На современном инфокоммуникационном языке задача создания адаптивной системы обучения, а точнее – разработки модели системы и алгоритма, реализующего эту модель, сводится к созданию, использованию и оптимальному взаимодействию двух источников: данных содержания обучения (модели профессиональной области) и данных о возможностях и потребностях обучаемого (модели обучаемого). Из сказанного выше следует однозначный вывод: качественное профессиональное обучение невозможно без необходимой полноты и качества содержания обучения, т. е. без высокоэффективной модели профессиональной области.

Создание модели профессиональной области

Содержание профессионального обучения (модель профессиональной области) должно определяться спросом рынка труда на тех или иных специалистов. Система профессионального образования должна обеспечивать подготовку специалистов соответствующих уровней квалификации и компетенций по профессиям, которые являются востребованными на рынке труда в данный период времени. Постоянный анализ изменений конъюнктуры рынка труда проводит ОЭСР и ежегодно публикует результаты исследований в своих докладах [1]. Создание модели профессиональной области (формирование содержания профессионального обучения) может осуществляться на основе использования двух альтернативных путей: традиционного и деятельностного [5].

Традиционный путь формирования содержания учебного материала предполагает применение предметно-урочного (в высших учебных заведениях лекционно-семинарского) подхода. Полученный таким образом учебный материал представляет собой набор учебных предметов (дисциплин). Однако из педагогической практики известно, что даже достаточно глубокое и полное усвоение и владение материалом отдельных учебных дисциплин не всегда приводит обучающегося к формированию у него требуемых знаний, навыков и компетенций, к их эффективному использованию на практике.

Более эффективным при формировании содержания учебного материала для профессионального обучения оказывается деятельностный подход [6], основанный на анализе той деятельности, которой должен будет заниматься подготавливаемый специалист. Данный подход называют также функциональным. Сущность его заключается в следующем. Группой экспертов проводится прогностический анализ содержания трудовой деятельности будущего специалиста. В процессе анализа выявляются все трудовые функции, а также последовательность их выполнения во время труда. Далее рассматриваются и идентифицируются средства и объекты труда. В итоге получается исчерпывающее описание будущей деятельности специалиста, включающее перечень тех задач, которые ему предстоит решать в своей профессиональной практике. Исходя из описания этих задач определяются:

- содержание учебного материала, необходимое и достаточное для профессионального обучения будущего специалиста;
- целесообразная структура и последовательность усвоения учебного материала.

В большинстве учреждений высшего образования распространен традиционный подход в различных разновидностях [5], хотя он уступает деятельностному подходу по эффективности.

Концепция «Модули трудовых компетенций» Международной организации труда как основа создания модели профессиональной области

Наиболее эффективную модель профессиональной области (содержание профессионального обучения) можно создать на основе модульной технологии, разработанной экспертами Международной организации труда (МОТ) в кризисные 80-е годы прошлого столетия. Технология получила широкую известность в мире как концепция «Модули трудовых компетенций» (МТК-концепция МОТ) [6]. В рамках данной концепции был предложен деятельностный подход формирования содержания профессионального обучения. Важнейшими принципами, которые служат основой создания современных образовательных систем при деятельностном подходе, являются [6]:

- оперативность и гибкость. Система профессионального обучения должна отслеживать конъюнктуру рынка труда и обеспечивать подготовку специалистов, соответствующих спросу по номенклатуре профессий, а также по уровню квалификации;

- непрерывность и открытость. Система профессионального образования должна обеспечивать потенциальную возможность непрерывного образования, что означает возможность подключения к процессу обучения в любое время и возможность продолжения обучения на следующем, более высоком, профессиональном уровне – обучение по вертикали, при необходимости – освоение новой (смежной) профессии, т. е. обучение по горизонтали. После этого – возвращение на рынок труда;

- демократизация. Следует обеспечивать возможность учета склонностей и пожеланий обучаемых, что будет способствовать повышению мотивации процесса обучения и, как следствие, – повышению качества и эффективности обучения;

- доступность. Система профессионального обучения и само содержание обучения должны обеспечивать возможность реализации учебного процесса как в учреждениях образования с преподавателями и инструкторами, так и самостоятельно; а также дистанционно, используя современные инфокоммуникационные технологии;

- модульность. Квантование и структурирование содержания учебного материала, а также организация процесса обучения должны осуществляться на основе использования отдельных учебных модулей. Каждый из модулей должен быть предназначен для достижения определенной цели в процессе обучения. Формирование и разработка учебных модулей могут осуществляться с использованием различных критериев и подходов;

- эффективность и качество. Для обеспечения требуемого результата и высокого качества обучения необходимы четкие формулировки целей, постановка задач обучения, достижение их безусловной реализации. Добиться этого возможно только при использовании высокоэффективных и результативных программ обучения. В разработке таких программ, кроме высококвалифицированных педагогов и методистов, должны участвовать также опытные специалисты соответствующих областей деятельности. Подготовленные программы должны подлежать обязательной экспертизе, дорабатываться, оцениваться и сертифицироваться;

- стандартизация. Для обеспечения возможностей оценивать качество подготовки специалистов необходимы нормализация и стандартизация требований к знаниям, умениям и компетенциям, которыми должны обладать обученные. Высшим уровнем стандартизации в области подготовки кадров являются профессиональные стандарты. Именно они определяют конечный результат – качество обучения. В Беларуси нормативными документами такого вида являются квалификационные характеристики, которые входят в Единый тарифно-квалификационный справочник, а также образовательные стандарты по учебным специальностям, разрабатываемые в системе Министерства образования;

- индивидуализация процесса обучения;

- ориентированность на конечный результат;

- активизация;

- плюрализация и др.

Перечисленные принципы заложены в документе, определяющем пути развития и совершенствования системы образования Беларуси [2]. Использование их при формировании содержания профессионального обучения [6] позволяет реализовать деятельностный, активизирующий и вариативный подходы к учебному процессу. Такой учебный процесс делает реальной индивидуали-

зацию обучения, позволяет реализовывать гибкие программы обучения и даже образовательные стандарты, что повышает мотивацию познавательной деятельности обучающихся. Ожидаемый и реальный итог такой организации учебного процесса – повышение качества и снижение стоимости профессионального обучения. Индивидуализировать процесс обучения при этом можно двумя путями: регулированием темпа усвоения учебного материала при одинаковом для всех обучающихся объеме материала; выбором в соответствии с пожеланиями и возможностями отдельных обучаемых индивидуального для каждого из них объема учебного материала.

Таким образом, модульный подход способствует самообучению и увеличению ответственности обучающегося за результаты своей учебной деятельности. Существенно изменяется при этом роль преподавателя. Она трансформируется в роль консультанта: основными функциями становятся его консультативная помощь обучаемым, управление познавательной деятельностью и контроль за ее результатами, наряду с самоконтролем учащихся. При этом снижаются требования к квалификации самого преподавателя, она в значительно меньшей степени влияет на результаты обучения. Очень важным итогом модульного подхода является значительное сокращение сроков обучения при сохранении полноты и глубины усвоения учебного материала.

Сам процесс профессионального обучения на основе модульного подхода предполагает учебную деятельность обучающегося самостоятельно или под управлением преподавателя посредством работы его с предоставленным ему индивидуальным пакетом научно-методического обеспечения. Пакет этот должен содержать [6]:

- целевую программу действий обучающегося (учебный план, учебные программы и т. п.);
- банк учебной информации (содержание профессионального обучения в удобных форматах);
- методическое руководство для достижения поставленных учебных целей;
- средства контроля и самоконтроля качества обучения;
- способы и средства корректировки уровня подготовки.

Основные понятия концепции «Модули трудовых компетенций»

Программы и содержание МТК-обучения разрабатываются на основе описания и анализа будущей профессиональной деятельности обучаемого. Описание готовится на базе соответствующих профессиональных стандартов, квалификационных характеристик, должностных инструкций для данной профессии, производственных заданий работодателей, а также с учетом личных профессиональных знаний и опыта разработчиков указанных учебных материалов. Изложенная таким образом профессиональная деятельность будущего специалиста разбивается на отдельные логически завершенные части, называемые модульными блоками (МБ) [6]. МБ – это логически завершенная и приемлемая часть работы в рамках производственного задания, профессии или области деятельности с четко обозначенными началом и окончанием, которая, как правило, не подразделяется в дальнейшем на более мелкие части.

Совокупность МБ, сгруппированных для конкретного вида работы, образует МТК, который представляет описание работы, выраженное в виде МБ (МТК описывает в форме МБ работу, выполняемую в рамках конкретного производственного задания). Далее работа в рамках каждого МБ разбивается на четко определенные шаги (операции), выполняемые в строго определенной логической последовательности. Для осуществления в будущем данных операций обучающемуся необходимо овладеть определенными знаниями и навыками (психомоторными, интеллектуальными, эмоциональными). На основе детального анализа шагов работы в каждом МБ и требуемых для их выполнения навыков и компетенций определяются объем и содержание учебного материала, необходимого и достаточного для подготовки обучающегося выполнять работу в рамках этого МБ.

Учебный материал структурируется и подразделяется на отдельные учебные элементы (УЭ), каждый из которых посвящен формированию у обучаемого определенного вида знаний, навыков или компетенций [6]. УЭ – самостоятельная учебная брошюра (электронный учебный элемент), предназначенная для обучения, ориентированная как на самостоятельную работу обучаемого, так и на работу под руководством преподавателя. Каждый УЭ создан для формирования у обучающегося определенных практических навыков, компетенций или теоретических знаний, т. е. содержит весь объем учебного материала, необходимого для формирования данных навыков и компетенций или для получения теоретических знаний.

Структура МТК-программы и логическая взаимосвязь ее составных частей [6] (МТК, МБ и УЭ) показаны на рис. 1.

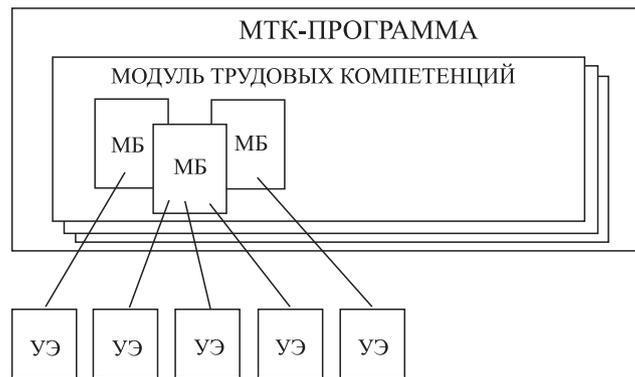


Рис. 1. Структурная схема и взаимные связи элементов МТК-программы
Fig. 1. Block diagram and mutual connections of the elements of the MTK program

База УЭ служит для обучаемых основным источником учебной информации. Она может быть создана как для отдельной профессии, так и для целой профессиональной области. Доступность современных баз УЭ (в электронном формате) обеспечивается благодаря использованию облачных технологий.

Для преподавателей и учебных заведений, организующих обучение, может разрабатываться инструктивный блок (ИБ) – современная форма плана занятий, разработанная для модульной системы обучения. Он способствует осуществлению преподавателями систематического планирования и подготовки занятий. ИБ может также служить основой для разработки УЭ. В зависимости от поставленных учебных целей отдельные МТК, входящие в состав МТК-программ, могут состоять из различного количества МБ в рамках одной или нескольких профессий.

Модель профессиональной области для адаптивного изучения программы «Охрана труда»

Полезным и эффективным оказалось применение МТК-программы, разработанной с помощью рассматриваемых в статье модульных технологий, в качестве модели профессиональной области для адаптивного обучения руководителей и специалистов предприятий и организаций по охране труда. МТК-программа «Охрана труда» создавалась в рамках проекта МОН ВУЕ/96/М01/FRG «Развитие модульных систем обучения в Республике Беларусь». Весьма эффективным оказалось применение данной программы в процессе традиционного и особенно адаптивного обучения указанного контингента – как при целевой подготовке, так и при переподготовке и повышении квалификации. Учебный материал в программе разбит на шесть отдельных логически завершенных частей – на шесть МБ. Из данного набора МБ можно составить МТК-программы для различных групп обучаемых, а также для разных видов или этапов обучения. Разбиение учебного материала на МБ для МТК-программы «Охрана труда» представлено в табл. 1.

Таблица 1. Перечень модульных блоков, образующих МТК-программу «Охрана труда»
Table 1. List of modular blocks that form the MTC program “Occupational Safety and Health”

№	Наименование / Name
1	МБ1. Основные положения трудового права
2	МБ2. Правовые основы охраны труда
3	МБ3. Организация работы по охране труда на предприятии
4	МБ4. Опасные и вредные производственные факторы и меры защиты от них
5	МБ5. Порядок расследования, оформления и учета несчастных случаев и профессиональных заболеваний на производстве
6	МБ6. Оказание помощи пострадавшим при повреждении здоровья на производстве

Разбиение учебного материала в рамках отдельных МБ на учебные элементы показано на примере МБ3 в табл. 2.

Таблица 2. Перечень учебных элементов для модульных блоков-3 (МБ3)
из МТК-программы «Охрана труда»

Table 2. List of educational elements for modular blocks-3 (МБ3)
from the МТС program “Occupational safety and health”

№	Наименование / Name	Количество страниц / Number of pages
3	МБ3. Организация работы по охране труда на предприятии	
3.1	Организация управления охраной труда на предприятии	16
3.2	*Обеспечение безопасного производства работ	15
3.3	*Правила и инструкции по охране труда	30
3.4	Аттестация рабочих мест по условиям труда	26
3.5	Обучение и инструктирование по охране труда	21
3.6	*Разработка и согласование документации на объекты	34
3.7	*Документация на применяемую и выпускаемую продукцию	15
3.8	*Медицинское и санитарно-бытовое обеспечение работающих	30
3.9	Статистическая отчетность по охране труда	26
3.10	*Сертификация рабочих мест	21

В процессе использования модульных программ по мере накопления собственного опыта, появления новых результатов научных исследований, новых методов и методик выполнения работ, усовершенствования производственного оборудования и предметов труда, а в последние десятилетия – в связи с бурным развитием информационно-коммуникационных технологий, искусственного интеллекта, цифровизации экономики и практически всех областей человеческой деятельности возникает необходимость дорабатывать учебный материал модульных учебных программ.

О модели профессиональной области для адаптивного изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация»

Одним из примеров эффективного использования МТК-концепции МОТ может служить создание на основе использования рассмотренных модульных технологий модели профессиональной области для адаптивного изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» (МСиС) [7] при подготовке в Международном государственном экологическом институте имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета студентов по специальностям «Информационные системы и технологии», «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент», «Ядерная и радиационная безопасность». Учебные программы указанных дисциплин послужили основой для разработки рассматриваемой модели профессиональной области.

Вариант разбиения учебного материала дисциплины на отдельные логически завершённые части – модульные блоки – приведен в [7]. Из полученных МБ можно сформировать как МТК каждого из разделов, так и модули трудовых компетенций для всех разделов дисциплины, являющиеся основой МТК-программы для изучения предмета в целом. В [7] показаны примеры деления учебного материала по МСиС на четыре отдельных МБ. Затем из МБ для каждого раздела сформированы программы по МСиС, соответствующие МТК. В результате получена МТК-программа для адаптивного изучения дисциплины МСиС в целом. Далее в рамках отдельного МБ учебный материал разбивается на отдельные, логически четко определенные части и структурируется в виде отдельных УЭ. Каждый УЭ предназначен для формирования у обучаемого требуемых знаний и навыков по отдельным вопросам учебной программы, для создания необходимых компетенций по дисциплине. Следует отметить, что наиболее высокой эффективности применения модульных учебных материалов как при традиционном, так и при адаптивном его изучении можно достичь в том случае, если полностью разработаны все учебные элементы и методические материалы, приведенные в [6]. Однако это связано со значительными временными и материальными затратами.

Заключение

1. Проанализированы направления повышения эффективности профессионального образования, определены пути улучшения качества адаптивного обучения за счет создания эффективных моделей профессиональной области [8].

2. Приведены примеры пилотного внедрения МТК-программ, разработанных в рамках проекта Международной организации труда ВУЕ/96/M01/FRG «Развитие модульных систем обучения в Республике Беларусь». Многолетний опыт, накопленный авторами статьи и российскими коллегами, подтверждает существенное повышение эффективности учебного процесса при использовании модульных учебных материалов, преимущества которых проявляются в большей степени при создании на основе МТК-концепции МОТ-модели профессиональной области для современного адаптивного обучения [9].

3. Одним из главных препятствий для широкого использования систем адаптивного обучения является высокая затратность на подготовку к их внедрению. Создание предлагаемых моделей адаптации, алгоритмов и программного обеспечения на их основе для реализации адаптивного обучения требует огромных затрат ресурсов высококвалифицированных специалистов, а также финансовых и материальных вложений. Хотя адаптивное обучение – весьма трудоемкое и недешевое, но окупается высокими качеством и эффективностью профессионального образования при одновременном сокращении сроков обучения.

4. Областью образовательной деятельности, где применение адаптивного обучения на основе использования информационно-коммуникационных и модульных технологий Международной организации труда будет наиболее эффективным и в определенном смысле единственно возможным и необходимым, является инклюзивное образование людей с особыми потребностями [10].

Список литературы

1. ОЭСР: Доклад о состоянии и перспективах занятости в 2023 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.oecd.org/employment-outlook/2023/>. Дата доступа: 13.02.2024.
2. Концепция развития системы образования Республики Беларусь до 2030 года [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100683&p1=1&p5=0>. Дата доступа: 13.02.2024.
3. Вилкова, К. А. Адаптивное обучение в высшем образовании: за и против / К. А. Вилкова, Д. В. Лебедев // Современная аналитика образования. 2020. Т. 37, № 7.
4. Коменский, Я. А. Великая дидактика / Я. А. Коменский М.: Госуд. учеб.-педаг. изд-во Наркомпроса РСФСР, 1939. Т. 1.
5. Шпак, И. И. Модель профессиональной области как основа адаптивного образовательного процесса / И. И. Шпак, С. Н. Касанин // Информатика. 2022. Т. 19, № 3. С. 50–61. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-3-50-61>.
6. Шпак, И. И. Модульные образовательные технологии в век информатизации и электронного обучения / И. И. Шпак // Информационные системы и технологии: управление и безопасность: сб. ст. II Междунар. заоч. науч.-практ. конф., г. Тольятти, декабрь 2013 г. Тольятти: Поволж. гос. ун-т сервиса, 2013. С. 362–373.
7. Шпак, И. И. Модульные технологии как основа модели профессиональной области для адаптивного изучения метрологии, стандартизации и сертификации / И. И. Шпак, В. И. Красовский // Сахаровские чтения 2023 года: экологические проблемы XXI века: матер. 23-й Междунар. науч. конф., г. Минск, 18–19 мая 2023 г. Минск: Информ.-вычисл. центр Минфина, 2023. Ч. 2. С. 213–217. <https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-213-217>.
8. Shpak, I. I. Modular Technologies and Digitalization Are the Most Modern and Effective Way to Develop Adaptive Educational Process / I. I. Shpak // International Conference “Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration”. August 9, 2023. Beijing, PRC. Part 1. P. 57–63. DOI: 10.34660/INF.2023.55.56.040.
9. Шпак, И. И. Информационные, коммуникационные и модульные технологии как основа для развития адаптивного образования / И. И. Шпак, С. Н. Касанин // Наука, техника и инновационные технологии в период возрождения новой эпохи могущественного государства: матер. Междунар. науч. конф., в 2 т., 12–13 июня 2023 г. Ашхабад: Акад. наук Туркменистана. Т. 1. С. 459–461.
10. Качественное и конкурентоспособное инклюзивное образование людей с особыми потребностями на основе применения ИКТ и модульных технологий МОТ / И. И. Шпак [и др.]: сб. ст. V Междунар. науч.-практ. конф., г. Минск, 14 декабря 2023 г. Минск: Белор. гос. ун-т информ. и радиоэлек., 2023. С. 328–333.

References

1. *OECD Report on the State and Prospects of Employment in 2023*. Available: <https://www.oecd.org/employment-outlook/2023/> (Accessed 13 February 2024).
2. *The Concept of Development of the Republic Belarus Education System Until 2030*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100683&p1=1&p5=0> (Accessed 13 February 2024) (in Russian).
3. Vilko A. A., Lebedev D. V. (2020) Adaptive Learning in Higher Education: Pros and Cons. *Modern Education Analytics*. 37 (7) (in Russian).
4. Komensky J. A. (1939) *The Great Didactics*. Moscow, State Educational and Pedagogical Publishing House of the People's Commissariat of the RSFSR. Vol. 1 (in Russian).
5. Shpak I. I., Kasanin S. N. (2022) An Effective Model of the Professional Field as the Basis for a Quality Adaptive Educational Process. *Informatics*. 19 (3), 50–61. <https://doi.org/10.37661/1816-0301-2022-19-3-50-61> (in Russian).
6. Shpak I. I. (2013) Modular Educational Technologies in the Age of Informatization and E-Learning. *Information Systems and Technologies: Management and Security: Collection of Articles of the II International Correspondence Scientific and Practical Conference, Tolyatti, Dec. 2013*. Tolyatti, Volga State University of Service. 362–373 (in Russian).
7. Shpak I. I., Krasovsky V. I. (2023) Modular Technologies as the Basis of a Professional Field Model for Adaptive Study of Metrology, Standardization and Certification. *Sakharov Readings of 2023: Environmental Problems of the XXI Century: Materials of the 23rd International Scientific Conference, Minsk, May 18–19*. Minsk, Information and Computing Center of the Ministry of Finance. Part 2. 213–217. <https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-2-213-217> (in Russian).
8. Shpak I. I. (2023) Modular Technologies and Digitalization Are the Most Modern and Effective Way to Develop Adaptive Educational Process. *International Conference "Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration"*, Aug. 9. Beijing, PRC, Part 1. 57–63. DOI: 10.34660/INF.2023.55.56.040.
9. Shpak I. I., Kasanin S. N. (2023) Information, Communication and Modular Technologies as a Basis for the Development of Adaptive Education. *Proceedings of the International Scientific Conference "Science, Technology and Innovative Technologies During the Renaissance of a New Era of a Powerful State"*, in 2 Vol., June 12–13. Ashgabat, Academy of Sciences of Turkmenistan. Vol. 1, 459–461 (in Russian).
10. Shpak I. I., Okhrimenko A. A., Skudnyakov Yu. A., Shpilevskaya V. V. (2023) High-Quality and Competitive Inclusive Education of People with Special Needs Based on the Use of ICT and Modular Technologies of the ILO. *Collection of Art. V International Scientific and Practical Conference, Minsk, Dec. 14*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 328–333 (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Шпак И. И., канд. техн. наук, доц., доц. каф. информационных систем и технологий, Институт информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

Касанин С. Н., канд. техн. наук, доц., зам. ген. дир. по науч. работе, Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси

Степанец А. С., дир. ООО «Ю-Сан форс»

Адрес для корреспонденции

220037, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Козлова, 28
Институт информационных технологий
Белорусского государственного университета
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 29 639-50-46
E-mail: Shpak@bsuir.by
Шпак Иван Ильич

Information about the authors

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

Kasanin S. N., Cand. of Sci., Associate Professor, Deputy General Director for Scientific Work, The United Institute of Informatics Problems of the National Academy of Sciences of Belarus

Stepanets A. S., Director of Yu-San Force LLC

Address for correspondence

220037, Republic of Belarus,
Minsk, Kozlova St., 28
Institute of Information Technologies
of Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 29 639-50-46
E-mail: Shpak@bsuir.by
Shpak Ivan Ilyich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-33-42>

Оригинальная статья

Original paper

УДК 331.108.2

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСПЕШНОСТИ ТРУДОУСТРОЙСТВА СОЦИАЛЬНО УЯЗВИМЫХ ГРУПП

А. Н. КОЗИНЕЦ

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

Поступила в редакцию 22.01.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. В условиях современного общества, где социальная уязвимость определяется через существование групп населения с ограниченными материальными ресурсами и соответствующей потребностью в социальной поддержке, возникают сложные вызовы для исследователей и практиков в сфере социально-экономической политики. В статье рассмотрено применение методов интеллектуального анализа данных для прогнозирования эффективности трудоустройства социально уязвимых категорий населения. Осуществлен многоаспектный анализ данной проблематики, охватывающий различные ее грани.

Ключевые слова: социально уязвимые группы, трудоустройство, экономический анализ, цифровая трансформация, машинное обучение, анализ больших данных, социальная политика.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Козинец, А. Н. Применение интеллектуального анализа данных для прогнозирования успешности трудоустройства социально уязвимых групп / А. Н. Козинец // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 33–42. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-33-42>.

APPLICATION OF INTELLIGENT DATA ANALYSIS TO PREDICT THE EMPLOYMENT SUCCESS OF SOCIALLY VULNERABLE GROUPS

ALIAKSANDR N. KAZINETS

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

Submitted 22.01.2024

Abstract. In modern society, where social vulnerability is defined through the existence of population groups with limited material resources and a corresponding need for social support, complex challenges arise for researchers and practitioners in the field of socio-economic policy. The article discusses the use of data mining methods to predict the effectiveness of employment of socially vulnerable categories of the population. A multidimensional analysis of this issue was carried out, covering its various facets.

Keywords: socially vulnerable groups, employment, economic analysis, digital transformation, machine learning, big data analysis, social policy.

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

For citation. Kazinets A. N. (2024) Application of Intelligent Data Analysis to Predict the Employment Success of Socially Vulnerable Groups. *Digital Transformation*. 30 (2), 33–42. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-33-42> (in Russian).

Введение

Актуальной проблемой в современной экономической действительности выступает интеграция социально уязвимых групп в рынок труда. К таким группам принадлежат инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, одинокие и/или многодетные родители, воспитывающие несовершеннолетних, включая детей-инвалидов, пенсионеры и граждане предпенсионного возраста, выпускники детских домов в возрасте до 23 лет, лица, освобожденные из мест лишения свободы, беженцы и вынужденные переселенцы, малоимущие, а также лица без определенного места жительства и занятий, граждане, нуждающиеся в социальном обслуживании [1]. Эффективное трудоустройство данных категорий граждан не просто способствует их социальному благополучию, но и является показателем устойчивости и результативности экономической системы на уровне региона или страны в целом. Неинтегрированность этих групп ведет к усилению социальных напряжений, увеличению государственных затрат на социальные программы и упущению потенциальных экономических возможностей.

В контексте ускоренной цифровой трансформации и развития информационных технологий в статье рассматривается использование интеллектуального анализа данных как одного из ключевых инструментов для глубокого изучения и эффективного решения проблематики интеграции маргинализированных категорий населения в рынок труда. Применение методов, основанных на больших данных и искусственном интеллекте, открывает новые возможности для прогнозирования и оптимизации процессов трудоустройства этих групп. Такой подход может оказать значительное влияние на разработку стратегий, направленных на устойчивое экономическое развитие и повышение социальной стабильности.

Социальная уязвимость и трудоустройство

Социальная уязвимость, являясь значимым объектом современных социально-экономических исследований, представляет собой многоуровневый феномен, охватывающий различные аспекты общественной жизни. Это не только экономическое положение или здоровье, но и комплексные аспекты, включая культурную идентичность, образование, социальную изоляцию и политическое участие. Мультидисциплинарный подход к анализу социальной уязвимости предполагает изучение ее взаимосвязей с социальными, экономическими и культурными факторами, влияющими на уровень уязвимости индивидов и групп в условиях динамично меняющегося общества. Особое внимание уделяется изменениям в социальной защищенности населения в период экономической нестабильности, а также специфике зон уязвимости различных групп работников и факторам, влияющим на их социальную защищенность [2]. В литературе представлены различные теоретические подходы к анализу социальной уязвимости, такие как:

– *подход социальной эксклюзии* – фокусируется на изучении факторов уязвимости отдельных групп населения – пожилых людей и лиц с ограниченными возможностями здоровья. Основное внимание уделяется идентификации барьеров, препятствующих интеграции этих групп в общество, и поиску путей их преодоления [3];

– *культурный подход* – исследует, как культурные факторы, включая стереотипы и предвзятость, влияют на социальную уязвимость. Например, анализируется, как этнические и гендерные стереотипы могут ограничивать доступ к образованию и трудоустройству, или как культурная изоляция иммигрантских сообществ влияет на их социальную интеграцию [4];

– *подход ресурсной зависимости* – подчеркивает влияние доступа к ресурсам на уровень уязвимости различных групп населения. Примером может служить исследование того, как экономическое положение влияет на доступность здравоохранения, образования и жилья для малообеспеченных слоев населения, усиливая их социальную уязвимость;

– *подход социального капитала* – акцентирует значение социальных сетей, доверия и взаимодействия для формирования социальной уязвимости. Примеры включают исследования влияния социальных сетей на трудоустройство молодежи и анализ роли общественного доверия и участия в гражданских организациях для повышения социального благополучия и снижения уязвимости [5].

Современные исследования в домене социальной уязвимости фокусируются на анализе специфических групп населения, включая мигрантов, безработных и инвалидов. Примером тако-

го исследования служит аналитический обзор, посвященный разработке и применению индексов социальной уязвимости (SVI). Данный анализ выявляет уникальные вызовы, стоящие перед этими группами, и демонстрирует взаимодействие множества факторов, создающих разнообразные формы уязвимости. Исследования значительно способствуют глубокому пониманию механизмов социальной уязвимости и разработке эффективных стратегий ее преодоления [6]. На рис. 1 представлен цикл социальной уязвимости и трудоустройство, иллюстрирующий замкнутый процесс, в котором недостаток ресурсов и возможностей приводит к ограниченному доступу к образованию и рынку труда, что усиливает социальную уязвимость и способствует росту социальной изоляции и экономического неравенства. Цикл подчеркивает, как взаимодействие этих факторов создает систему, из которой трудно вырваться без специальных стратегий и мер реагирования. Таким образом, цикл служит наглядным представлением сложной системы причин и следствий, подчеркивая необходимость комплексных мер и стратегий, основанных на методах интеллектуального анализа данных (ИАД), для разрыва этого цикла и поддержки трудоустройства уязвимых групп населения.

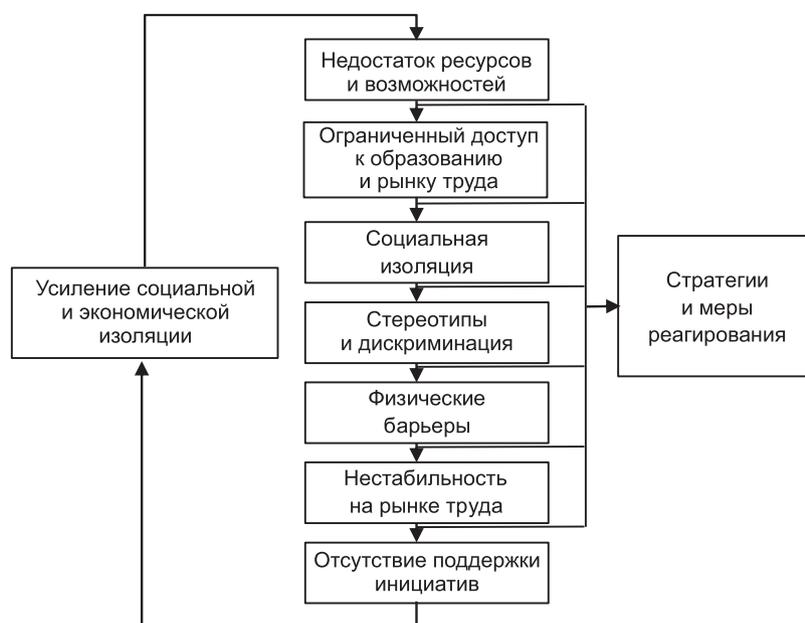


Рис. 1. Цикл социальной уязвимости и трудоустройство
Fig. 1. The cycle of social vulnerability and employment

В рамках рассматриваемых подходов к социальной уязвимости ключевым аспектом является разработка эффективных практических стратегий и мер, направленных на снижение уровня социальной уязвимости и улучшение возможностей трудоустройства уязвимых групп населения. Перед внедрением цифровых технологий традиционные меры включали следующие практики:

- *развитие социальной инфраструктуры* – стратегии, направленные на улучшение доступа к образованию, здравоохранению и социальным услугам. Играют ключевую роль в поддержке уязвимых групп. Значительное внимание уделяется инклюзивному образованию и профессиональной подготовке, что способствует интеграции данных групп в рынок труда;

- *реализация программ социальной поддержки* – программы поддержки доходов и социальной защиты, такие как пособия по безработице, пенсии и социальные выплаты. Обеспечивают минимальный уровень благосостояния и помогают снижать риск социальной изоляции. Эти меры способствуют созданию более стабильной и безопасной социальной среды;

- *продвижение политики равных возможностей* – законодательные инициативы, нацеленные на борьбу с дискриминацией и усиление равенства доступа к ресурсам и возможностям. Формируют основу для создания более справедливой и инклюзивной рабочей среды;

- *укрепление сети социального партнерства* – взаимодействие государственных органов, неправительственных организаций, частного сектора и сообществ необходимо для реализации комплексных подходов к решению проблем социальной уязвимости. Такое сотрудничество способствует объединению усилий и ресурсов для достижения наиболее эффективных результатов.

Среди предлагаемых новаторских подходов к уменьшению социальной уязвимости особое место занимает активное использование цифровых технологий и методов интеллектуального анализа данных. Это направление отходит от традиционных инструментов и предлагает передовые решения для разработки персонализированных программ поддержки и повышения эффективности процессов трудоустройства. Применение таких инструментов позволяет проводить глубокий анализ и точное прогнозирование тенденций на рынке труда, основываясь на интеллектуальной аналитике исторических данных, что открывает новые перспективы для социальной интеграции уязвимых групп населения.

Сложно переоценить значимость трудоустройства уязвимых групп для экономического роста, поскольку оно способствует повышению их личных доходов, что, в свою очередь, увеличивает потребительский спрос и налоговые поступления. Это ведет к снижению государственных расходов на социальную поддержку и стимулирует экономическое развитие. Схематичное изображение данного процесса представлено на рис. 2.

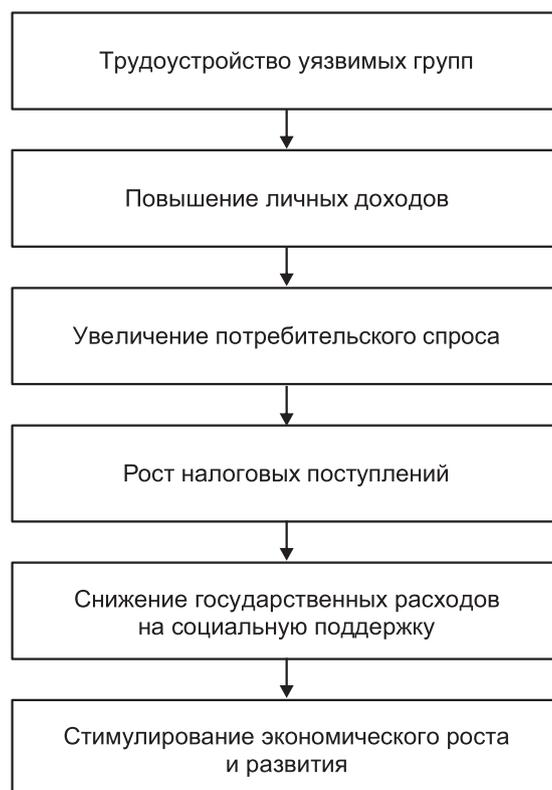


Рис. 2. Цепочка воздействия трудоустройства уязвимых групп на экономику
Fig. 2. Chain of impact of vulnerable groups employment on the economy

В стратегиях снижения социальной уязвимости актуальными являются международные инициативы, реализуемые в различных странах. Например, в Азербайджане ООН поддержала программу, целью которой была социальная и трудовая реабилитация инвалидов, а также поддержка их самозанятости [7]. В Эфиопии осуществлялся проект урбанистической продуктивной сети социальной защиты, охватывающий 604 000 уязвимых граждан, включая меры по общественным работам и гранты на жизнеобеспечение. Дополнительно Программа малых грантов глобального экологического фонда реализовала проекты по обучению солнечной инженерии в Белизе [8, 9]. Эти проекты иллюстрируют важность сотрудничества между местными сообществами и международными организациями для достижения устойчивого развития и сокращения социальной уязвимости.

Дальнейший анализ социальной уязвимости включает в себя рассмотрение конкретных факторов, влияющих на трудоустройство уязвимых групп, а также изучение существующих практик, направленных на решение этих проблем. Представленные в табл. 1 решения являются отражением текущих тенденций и подходов, применяемых в различных странах и организациях

для поддержки социально уязвимых групп, демонстрируя важность интегрированного подхода к улучшению их положения на рынке труда.

Таблица 1. Этапы цикла социальной уязвимости и связанные с ними факторы, влияющие на трудоустройство, с предлагаемыми решениями

Table 1. Cycle stages of social vulnerability and related factors influencing employment, with proposed solutions

Этап цикла / Cycle stage	Фактор / Factor	Проблема / Problem	Предлагаемое решение / Suggested solution	Преимущество решения / Advantage of the solution	Недостаток решения / Disadvantage of the solution
Недостаток ресурсов и возможностей	Доступ к образованию	Ограниченный доступ к качественному образованию	Расширение грантов и стипендий	Повышение образовательного уровня	Увеличение бюджетных расходов
Ограниченный доступ к образованию и рынку труда	Навыки и квалификация	Недостаток профессиональных навыков	Переподготовка и квалификационные программы	Повышение уровня трудоустройства	Требование ресурсов и времени
Социальная изоляция	Сетевые связи	Ограничения в нетворкинге	Организация профессиональных мероприятий	Расширение профессиональных возможностей	Усиление конкуренции на рынке
Стереотипы и дискриминация	Психологические барьеры	Стереотипы и предвзятость	Образовательные программы против дискриминации	Способствует равенству на работе	Сопротивление изменениям в коллективе
Физические барьеры	Физический доступ	Проблемы доступности рабочих мест для инвалидов	Разработка стандартов и адаптивного оборудования	Улучшение условий для инвалидов	Высокие начальные инвестиции
Нестабильность на рынке труда	Занятость на рынке труда	Высокий уровень безработицы	Создание гибких условий труда	Увеличение занятости	Необходимость регулирования условий труда
Отсутствие поддержки инициатив	Социальное предпринимательство	Отсутствие поддержки инициатив в социальном предпринимательстве	Финансирование и поддержка стартапов	Стимулирование инноваций и предпринимательства	Риск недостаточной прибыльности

Анализ табл. 1 позволяет сделать следующие выводы в контексте социальной уязвимости и трудоустройства.

Ограниченный доступ к качественному образованию представляет собой значительную проблему. Расширение программ грантов и стипендий предлагается как решение, которое может повысить образовательный уровень и, как следствие, квалификацию социально уязвимых групп. Однако это требует значительных финансовых вложений, что может увеличить бюджетные расходы.

Недостаток профессиональных навыков и опыта является препятствием для трудоустройства. Программы профессиональной переподготовки и повышения квалификации предлагаются как способ повышения уровня трудоустройства. Это, однако, требует значительных временных и ресурсных вложений.

Ограничения в нетворкинге усиливают социальную изоляцию уязвимых групп. Организация профессиональных сетевых мероприятий может расширить профессиональные возможности, но это также может усилить конкуренцию на рынке труда.

Стереотипы и предвзятость на рынке труда могут быть преодолены через образовательные программы. Эти программы способствуют равенству и улучшению рабочего климата, но могут столкнуться с сопротивлением изменениям в коллективе.

Проблемы доступности рабочих мест для инвалидов возможно решить путем разработки стандартов доступности и внедрения адаптивного оборудования. Это улучшит условия труда для людей с ограниченными возможностями, однако потребует значительных начальных инвестиций.

Высокий уровень безработицы среди уязвимых групп может быть снижен путем создания гибких условий труда. Это увеличивает занятость, но требует регулирования условий труда.

Отсутствие поддержки инициатив в социальном предпринимательстве может быть компенсировано финансированием и поддержкой стартапов, что стимулирует инновации и предпринимательство. Однако такие проекты могут столкнуться с риском недостаточной прибыльности.

Анализ социальной уязвимости в контексте трудоустройства открывает множество факторов, влияющих на интеграцию уязвимых групп в рабочую среду. Развитие социальной инфраструктуры, реализация программ социальной поддержки, продвижение равных возможностей, интеграция инновационных технологий и укрепление социального партнерства являются ключевыми стратегиями для улучшения их положения. Примеры разнообразных международных проектов, таких как поддержка ООН программ в Азербайджане и Эфиопии, а также инициативы Глобального экологического фонда в Белизе, подчеркивают эффективность глобальных подходов к уменьшению социальной уязвимости. В целом мультидисциплинарный анализ и практические меры способствуют более успешному включению социально уязвимых групп в трудовую жизнь общества.

Методы интеллектуального анализа данных в прогнозировании трудоустройства

В современном информационном пространстве анализ больших данных становится ключевым инструментом в разработке стратегий трудоустройства, особенно актуальных для социально уязвимых групп. Это направление продолжает оставаться в фокусе исследований, требуя дополнительных подтверждений своей эффективности. В условиях динамических изменений на рынке труда прогнозирование тенденций на основе анализа исторических данных становится не только возможным, но и необходимым для формулирования эффективной политики занятости. Интеллектуальный анализ данных обеспечивает выявление значимых закономерностей и создание прогнозов, используя сложные и разнообразные массивы информации, что предоставляет ценные практические выводы для государственных структур, неправительственных организаций и частного сектора.

В современной экономике анализ данных начинает выступать как перспективный инструмент для прогнозирования трудоустройства, особенно для социально уязвимых групп. Хотя эта практика еще не получила широкого распространения, предлагается активно развивать и применять подходы анализа больших данных для формирования эффективных стратегий трудоустройства этих групп населения, что может открыть новые возможности для социальной интеграции и экономического развития. Выделим основные методы анализа данных, используемых в данной области:

1) дескриптивный анализ – основа начального изучения данных, включает подсчет частот, средних значений, медиан и других статистических мер. Этот подход помогает понять общие тенденции и шаблоны в данных;

2) корреляционный анализ – используется для выявления связей между различными переменными. При трудоустройстве это помогает понять, как различные факторы влияют на вероятность трудоустройства;

3) регрессионный анализ – помогает прогнозировать значения одной переменной на основе другой. В экономических исследованиях часто используется для оценки влияния определенных факторов (например, образования или профессиональной подготовки) на занятость;

4) кластерный анализ – группирует похожие показатели, что помогает выявить скрытые шаблоны в данных о трудоустройстве, например, сгруппировать различные профессии или типы безработных;

5) методы машинного обучения – совместно с алгоритмами классификации и предсказания могут автоматически обрабатывать большие объемы данных для выявления сложных закономерностей и прогнозирования будущих тенденций в трудоустройстве.

Приведенные методы анализа данных имеют широкий спектр применения в различных аспектах трудоустройства. Важно глубоко понимать, как они могут быть эффективно использованы на практике для решения конкретных задач. Например, корреляционный анализ может выявить взаимосвязь между образовательным уровнем и трудоустройством, в то время как кластерный анализ поможет группировать данные о безработных для создания целевых программ поддержки.

Для обеспечения полноты картины и обоснования эффективности применяемых методов в табл. 2 представлен синтез направлений использования этих методов в контексте трудоустройства уязвимых групп. Освещение возможностей и ограничений, связанных с каждым из методов, позволяет не только оценить их роль в общем исследовании рынка труда, но и выявить наиболее перспективные подходы для конкретной поддержки уязвимых групп населения.

Таблица 2. Методы анализа данных для улучшения трудоустройства уязвимых групп:
применение и результаты**Table 2.** Data analysis methods for enhancing employment of vulnerable groups: applications and outcomes

Метод / Method	Применение / Use	Особенность / Peculiaritie	Преимущество / Advantage	Недостаток / Disadvantage
Дескриптивный анализ	Анализ тенденций безработицы	Определение ключевых демографических шаблонов	Легкость интерпретации, широкая доступность	Ограниченное прогностическое значение
Корреляционный анализ	Оценка программ обучения; изучение связи между социальной поддержкой и успешностью трудоустройства	Изучение взаимосвязей между переменными	Возможность выявления скрытых связей	Не подтверждает причинно-следственных связей
Регрессионный анализ	Прогнозирование занятости; оценка влияния образовательных инициатив на трудоустройство	Оценка влияния одних переменных на другие	Точность прогнозов при правильной настройке	Сложность интерпретации, чувствительность к выбросам
Кластерный анализ	Сегментация безработных; группировка профессий для целевых тренингов	Группирование похожих данных	Выявление неочевидных шаблонов	Зависимость от выбора параметров кластеризации
Машинное обучение	Идентификация рисков безработицы; автоматизированный отбор кандидатов для программ поддержки	Обработка больших объемов данных для выявления закономерностей	Высокие точность и адаптивность	Сложность настройки, риск переобучения

Анализируя представленные в табл. 2 методы обработки данных, можно выявить их уникальное значение для трудоустройства социально уязвимых групп.

Дескриптивный анализ обеспечивает базовое понимание демографических и социально-экономических данных социально уязвимых групп, ограничивается поверхностным анализом и не раскрывает глубинные причинно-следственные связи, что делает его первым шагом в понимании их проблем на рынке труда. Может выполняться социальными службами и агентствами по трудоустройству, поможет этим организациям в получении первичных данных о безработных, об их образовании и истории трудоустройства, что является основой для разработки политик и программ.

Корреляционный анализ, хотя и эффективен в выявлении скрытых взаимосвязей между различными социально-экономическими факторами, такими как уровень образования и успех в трудоустройстве, не может установить прямые причинно-следственные отношения, что является критически важным для разработки мер поддержки. Будет полезен при использовании исследовательскими организациями и университетами для изучения связей между различными социально-экономическими факторами и их влияния на трудоустройство. Помогает определить, какие факторы наиболее важны для трудоустройства уязвимых групп.

Регрессионный анализ предлагает более точное прогнозирование влияния социально-экономических факторов на трудоустройство социально уязвимых групп, но его сложность требует детального статистического анализа и тщательной подготовки данных. Подходит для применения властями и организациями, занимающимися разработкой политики, для более точного прогнозирования влияния образовательных программ или экономических изменений на трудоустройство.

Кластерный анализ особенно важен для группировки безработных и выявления скрытых шаблонов, способствует более эффективному подходу к разработке программ поддержки, но его точность зависит от правильного выбора параметров и понимания структуры данных. Может быть использован службами занятости и социальными службами для группировки безработных по различным критериям, что помогает в разработке целенаправленных программ поддержки.

Машинное обучение, как передовой метод обработки больших объемов данных, открывает новые горизонты в прогнозировании и понимании сложных закономерностей, что особенно ценно для анализа ситуации в трудоустройстве социально уязвимых групп. Тем не менее его эффективное использование требует глубоких знаний в области данных и машинного обучения. Методы машинного обучения применяются передовыми исследовательскими центрами и разработчиками программного обеспечения для анализа больших объемов данных, помогают в выявлении сложных закономерностей и прогнозировании будущих тенденций трудоустройства социально уязвимых групп.

Представленная на рис. 3 схема информационной системы демонстрирует, как перечисленные методы могут быть интегрированы в процесс поддержки социально уязвимых групп, делая охват от идентификации и анализа потребностей до мониторинга и оценки реализованных стратегий.



Рис. 3. Схема информационной системы для трудоустройства социально уязвимых групп
Fig. 3. Scheme of an information system for employment of socially vulnerable groups

При реализации информационной системы для поддержки социально уязвимых групп каждый компонент системы играет определенную роль и вносит свой вклад в эффективность и функциональность решения. Опишем функционал и технические аспекты основных элементов системы:

- пользовательский интерфейс (UI) – включает веб-приложения (разработанные на React, Angular и т. д.) и мобильные приложения (iOS/Android). Обеспечивает взаимодействие с пользователями (социальными службами, безработными, работодателями);

- клиент-серверное взаимодействие (API) (разработан на Node.js, Express.js) – для обмена данными между клиентскими приложениями и сервером;

- серверная часть – обработка запросов, аутентификация (использование JWT, OAuth), логика приложений, управление доступом;

- база данных – SQL (например, PostgreSQL) или NoSQL (MongoDB) – для хранения данных о пользователях, об их социально-экономических характеристиках, истории трудоустройства;

- модули анализа данных – использование библиотек Python (Pandas, NumPy) для дескриптивного и корреляционного анализа. Применение машинного обучения с использованием Scikit-learn, TensorFlow для выявления сложных закономерностей;

- интеграция с внешними системами – связь с государственными порталами, базами данных через RESTful API или SOAP;
- разработка планов поддержки – создание индивидуальных стратегий на основе анализа данных, использование систем управления проектами и CRM-систем;
- мониторинг и оценка эффективности – интеграция с аналитическими инструментами (Google Analytics, Tableau) для сбора обратной связи и анализа результатов.

Таким образом, исследование методов интеллектуального анализа данных в контексте социальной уязвимости открывает новые перспективы для улучшения процесса трудоустройства, учитывая уникальные потребности и проблемы уязвимых групп населения. Использование этих методов обеспечивает не только глубокий анализ текущей ситуации, но и способствует разработке целенаправленных и эффективных стратегий поддержки.

Заключение

1. Исследование подчеркивает важность применения методов интеллектуального анализа данных для повышения эффективности трудоустройства социально уязвимых групп. Эти методы, доказавшие свою эффективность, открывают новые возможности для глубокого понимания динамических тенденций на рынке труда и способствуют выявлению критических факторов, влияющих на процесс трудоустройства. Особенность выполненного исследования – многоуровневый подход к анализу социальной уязвимости и внимание к интеграции различных аспектов в единый аналитический фреймворк.

2. Разработана концептуальная схема информационной системы, которая включает модули для сбора и анализа данных, интеграцию различных источников информации, а также разработку и реализацию стратегий трудоустройства. Эта система охватывает весь процесс, начиная от идентификации потребностей уязвимых групп и заканчивая оценкой эффективности реализованных программ.

3. Исследование не только подчеркивает значимость использования передовых технологических решений для улучшения процессов трудоустройства, но и стимулирует разработку комплексных информационных систем, которые могут служить катализатором социальных изменений. Это обеспечит не только более глубокое понимание механизмов социальной интеграции, но и поможет в формировании инклюзивного и справедливого рынка труда. Такие системы будут способствовать экономическому развитию, снижению социального напряжения и улучшению общего благосостояния общества.

4. Результаты исследования подчеркивают необходимость межсекторального сотрудничества между государственными органами, частным сектором, неправительственными организациями и академическими кругами с целью разработки и реализации эффективных стратегий, направленных на поддержку социально уязвимых групп и улучшение процессов трудоустройства.

Список литературы

1. Социально уязвимые категории [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.crpp.ru/sotsialnoe_predprinimatelstvo/predprinimateli/sockateg. Дата доступа: 21.12.2023.
2. Соболева, И. В. Социально-экономическая защищенность населения: ключевые аспекты и тенденции изменения / И. В. Соболева, Т. А. Чадова // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2013. № 6. С. 7–92.
3. Социальная уязвимость в региональном сообществе: эксклюзия и современные механизмы ее преодоления [Электронный ресурс] / Под рук. В. А. Ильина. Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/product/1019441>. Дата доступа: 21.12.2023.
4. Полякова, Н. Л. Новые теоретические перспективы в социологии начала XXI в. / Н. Л. Полякова // Вестник Московского университета. Серия 18. Социология и политология. 2015. № 2. С. 29–46.
5. Putnam, R. D. Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community / R. D. Putnam. New York: Simon & Schuster, 2000
6. Social Vulnerability Indices: A Scoping Review / J. C. Mah [et al.] // BMC Public Health. 2023. No 23. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16097-6>.
7. Azerbaijan's New Self-Employment Programme is Changing the Lives of 500 People with Disabilities [Electronic Resource]. Mode of access: <https://www.undp.org/azerbaijan/stories/azerbaijan%E2%80%99s-new-self-employment-programme-changing-lives-500-people-disabilities>. Date of access: 21.12.2023.

8. Small Solutions, Big Impacts: 5 Community-Based Projects Tackling Climate Change [Electronic Resource] // United Nations. Mode of access: <https://news.un.org/en/story/2022/04/1117122>. Date of access: 21.12.2023.
9. Stories of Impact – A Series Highlighting Achievements in Disaster Risk Management Initiatives [Electronic Resource] // The World Bank. Mode of access: <https://www.worldbank.org/en/topic/disasterriskmanagement/publication/stories-impact-disaster-risk-management-initiatives>. Date of access: 21.12.2023.

References

1. *Socially Vulnerable Categories*. Available: https://www.crpp.ru/sotsialnoe_predprinimatelstvo/predprinimateli/sockateg (Accessed 21 December 2023) (in Russian).
2. Soboleva I. V., Chadova T. A. (2013) Socio-Economic Security of the Population: Key Aspects and Trends of Change Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. (6), 7–92 (in Russian).
3. Ilyin V. A. (Under the Leadership) (2018) *Social Vulnerability in a Regional Community: Exclusion and Modern Mechanisms for Overcoming It*. Available: <https://znanium.com/catalog/product/1019441> (Accessed 21 December 2023) (in Russian).
4. Polyakova N. L. (2015) New Theoretical Perspectives in Sociology at the Beginning of the XXI Century. *Bulletin of Moscow University. Series 18. Sociology and Political Science*. (2), 29–46 (in Russian).
5. Putnam R. D. (2000) *Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community*. New York, Simon & Schuster Publ.
6. Mah J. C., Penwarden J. L., Pott H., Theou O., Kathryn A. M. (2023) Social Vulnerability Indices: A Scoping Review. *BMC Public Health*. 23. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16097-6>.
7. *Azerbaijan's New Self-Employment Programme is Changing the Lives of 500 People with Disabilities*. Available: <https://www.undp.org/azerbaijan/stories/azerbaijan%E2%80%99s-new-self-employment-programme-changing-lives-500-people-disabilities> (Accessed 21 December 2023).
8. Small Solutions, Big Impacts: 5 Community-Based Projects Tackling Climate Change. *United Nations*. Available: <https://news.un.org/en/story/2022/04/1117122> (Accessed 21 December 2023).
9. Stories of Impact – A Series Highlighting Achievements in Disaster Risk Management Initiatives. *The World Bank*. Available: <https://www.worldbank.org/en/topic/disasterriskmanagement/publication/stories-impact-disaster-risk-management-initiatives> (Accessed 21 December 2023).

Сведения об авторе

Козинец А. Н., асп. каф. экономики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 17 293-80-46
E-mail: kozinets.science@gmail.com
Козинец Александр Николаевич

Information about the author

Kazinets A. N., Postgraduate at the Department of Economics, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, P. Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 17 293-80-46
E-mail: kozinets.science@gmail.com
Kazinets Aliaksandr Nikolaevich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-43-51>

Original paper

UDC 371.3

IMPROVING ENGINEERING STUDENTS' UNDERSTANDING OF COMPONENTS OF CYBER-PHYSICAL SYSTEMS USING A TEAM PROJECT-BASED TEACHING METHOD

AYGUL A. CHARYYEVA¹, SULEYMAN M. NOKEROV¹, PERMAN E. HOJAGULYYEV¹,
ANNAGELDI M. ORAZOV¹, ARAVIND P. VENKATARAMAN², THULASI BIKKU³

¹*Oguzhan Engineering and Technology University of Turkmenistan (Ashgabat, Turkmenistan)*

²*Mattu University (Mattu, Ethiopia)*

³*Amrita School of Computing Amaravati, Amrita Vishwa Vidyapeetham (Tamil Nadu, India)*

Submitted 21.03.2024

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024

Abstract. This article describes a teaching method that was used to teach second-year mechatronics and robotics students the components of cyber-physical systems. In view of the importance of team learning, the group was divided into five sub-groups (student teams) in order to increase efficiency by comparing the tasks undertaken by the teams. A line following robot was used for the teaching. This course was designed to last 48 academic hours. As a result, the students noted that after building the robot in teams, their attitude towards cyber-physical systems changed, and they became motivated to carry out larger projects related to cyber-physical systems.

Keywords: cyber-physical systems, teaching method, robot, student teams, project-based learning.

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

For citation. Charyyeva A. A., Nokerov S. M., Hojagulyyev P. E., Orazov A. M., Venkataraman A. P., Bikku Th. (2024) Improving Engineering Students' Understanding of Components of Cyber-Physical Systems Using a Team Project-Based Teaching Method. *Digital Transformation*. 30 (2), 43–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-43-51>.

УЛУЧШЕНИЕ ПОНИМАНИЯ СТУДЕНТАМИ-ИНЖЕНЕРАМИ КОМПОНЕНТОВ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОБУЧЕНИЯ, ОСНОВАННОГО НА КОМАНДНЫХ ПРОЕКТАХ

А. А. ЧАРЫЕВА¹, С. М. НОКЕРОВ¹, П. Э. ХОДЖАГУЛЫЕВ¹, А. М. ОРАЗОВ¹,
А. П. ВЕНКАТАРАМАН², Т. БИККУ³

¹*Инженерно-технологический университет Туркменистана имени Огузхана (г. Ашгабат, Туркменистан)*

²*Университет Матту (г. Матту, Эфиопия)*

³*Амрита школа вычислительной техники Амаравати, Амрита Вишва Видьяпитам (Тамил Наду, Индия)*

Поступила в редакцию 21.03.2024

Аннотация. В статье описывается метод обучения, который использовался для обучения студентов второго курса мехатроники и робототехники компонентам киберфизических систем. Учитывая важность командного обучения, группа была разделена на пять подгрупп (студенческих команд), чтобы повысить эффективность за счет сравнения заданий, выполняемых командами. Для обучения использовался робот, следующий за линией. Этот курс был рассчитан на 48 академических часов. В результате студенты отмети-

ли, что после создания робота в командах их отношение к киберфизическим системам изменилось, и у них появилась мотивация выполнять более масштабные проекты, связанные с киберфизическими системами.

Ключевые слова: киберфизические системы, метод обучения, робот, студенческие команды, обучение на основе проекта.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Улучшение понимания студентами-инженерами компонентов киберфизических систем с использованием метода обучения, основанного на командных проектах / А. А. Чарыева [и др.] // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 43–51. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-43-51>.

Introduction

Oguzhan Engineering and Technology University of Turkmenistan (ETUT) was opened in 2016 and is one of the youngest universities in the country. Despite its youth, our university, which is one of the leading universities in the country, is a reporter of the Times Higher Education [1], member of CDIO [2], UI GreenMetric [3], and a number of other international organisations [4, 5]. ETUT trains engineering technologists and technicians at Bachelor's degree. The aim of the ETUT's teaching staff is to prepare a competitive specialist in their field.

At the ETUT students receive a quality education in English and Japanese in accordance with international educational standards in the majorities “Automation and control”, “Mechatronics and robotics”, “Electronics and nanoelectronics”, “Biomedical electronics”, “Physics of modern technologies”, “Technical means of data protection”, “Technologies of digital economy”, “Digital infrastructure and cybersecurity”, “Mobile and network engineering”, “Innovative economics” and etc. [6].

One of the main tasks of the academic staff of the Department of Cyber-Physical Systems (CPS) at the ETUT is to provide the students of this department with a broad modern understanding of CPS. CPS are one of the main directions of the intelligent industry that is planned to be organised in the country in the coming years.

A smart manufacturing is an industrial system that integrates modern information and communication technologies with the production environment to ensure real-time management of energy, productivity and costs in the production process at the machine, factory or enterprise level. In other words, the smart manufacturing is the production of the future, combining the imaginary and physical worlds through CPS. The capabilities of devices and sensors to transfer information between each other make it possible to build an intelligent network throughout the entire production chain [7, 8]. In order to achieve the above, there is a need for highly qualified specialists who are will be able to model CPS platforms and their production, create software using different programming languages for the interaction of modern sensors and control systems with each other, in short, engineers who can deal with CPS.

For this reason, the academic staff of the Department of CPS are striving to train personnel who will work in this new industrial sector, which will make a great contribution to the development of the country, according to modern requirements and to achieve a continuous improvement of their skills. This article describes the characteristics of the method that uses a programmable line following robot to improve the understanding of components of CPS by undergraduate students of the Department of CPS.

Literature review

To date, several researchers have conducted research into teaching methods for students with components of CPSs.

V. Gadepally et al. [9] using the existing project “Autonomous driving in mixed environments” explain to students the structure and working principle of CPS. In this paper, based on the “Autonomous driving in mixed environments” project, students are invited to develop algorithms for the CPS, “Roomba, overcoming competition”, and the results of this method are analysed through a project competition. The aim of this event is to give students the opportunity to study the components of CPS by working independently on existing scientific projects.

N. Ueter et al. [10] in their work, they teach of the Department of Computer Science and Computer Engineering students the components of CPS by building an unmanned vehicle using the project-based learning method. Project-based learning is a comprehensive programme in which students start with projects in one subject area while developing their skills in other subjects. In this article, the basic con-

cepts of CPSs are explained to the students and the results demonstrated by the students are discussed and evaluated at the end of the project. In this methodology, students are given the opportunity to apply their theoretical knowledge, complete a project and test their work in real life to improve their cognitive skills. This method also aims to improve students' ability to work in groups on complex projects.

The work of S. A. Nelke et al. [11] is also based on the use of project-based learning methodology in teaching students the components of CPS. But the difference in their methodology is that it is aimed at teaching undergraduate students in "Industrial engineering and technology management", who practically have no knowledge about the components of CPS, about courses in electricity and programming. The authors solved this problem by teaching students about the Internet of things, one of the key components of CPS. This is because Technological Business Engineers, who are the profession of the future, will be able to work with electrical engineers and programmers, and gaining an understanding of their work, will enable them to properly manage multifaceted projects.

S. Ghosh et al. [12] use the CPS testbed, which specialises in developing a simple way to teach students the components of CPS. This testbed allows students to design, run and analyse control algorithms in various CPS. As can be seen from the teaching methods above, each institution uses different methods to teach students the components of CPS. This article describes our teaching methodology used to teach the components of CPSs to 2nd year students of "Mechatronics and robotics" at the Faculty of Cyber-physical systems.

Methodology

Teaching students about the components of CPS starts with explaining to them what the term "cyberphysical systems" means. To do this, we use Google Scholar to analyze various literature and use the most cited articles. Using several articles and writing definitions in notebooks, we discuss all these definitions together with the students. While discussing the definitions of the term CPS, we also come across a number of other terms related to CPS, and again analyse the relevant literature sources in order to understand them. This methodology allows students to better understand CPSs. In order to consolidate what has been learnt in this lesson, in the next lesson we give the students cards with the names of the terms and explore the students' concepts. If the student has not improved, more time is given and the previous activities are repeated. As an example of the definition of cyberphysical systems, consider the following definitions.

E. A. Lee [13]: "A cyber-physical system (CPS) is an orchestration of computers and physical systems. Embedded computers monitor and control physical processes, usually with feedback loops, where physical processes affect computations and vice versa".

V. Gunes et al. [14]: "Cyber-physical systems (CPSs) are complex, multi-disciplinary, physically-aware next generation engineered systems that integrate embedded computing technology (cyber part) into the physical phenomena by using transformative research approaches. This integration mainly includes observation, communication, and control aspects of the physical systems from the multi-disciplinary perspective".

R. Alguliyev et al. [15]: "Cyber-physical systems (CPS) is a system that can effectively integrate cyber and physical components using the modern sensor, computing and network technologies".

A. Humayed et al. [16]: "CPS are composed of various components in many ways. There are different hardware components such as sensors, actuators, and embedded systems. There are also different collections of software products, proprietary and commercial, for control and monitoring".

M. N. O. Sadiku et al. [17]: "A CPS has three main components: (1) a physical system, (2) networking and communication element, (3) a distributed cyber system. CPSs are designed with a set of distributed hardware, software, and network components which are embedded in physical systems and environments. The software plays the most important role; it includes all software programs for processing, filtering, and storing information. CPSs interact with the physical system through networks".

As we can see, in the definitions provided to understand the meaning of the term CPS, we find several other terms such as integrated systems, physical system, sensors, computing structure, actuators, high precision network. These new terms are also discussed throughout the course. Of course, many of these new terms have been explained in previous lessons. If these terms have not been considered before this lesson, then these new terms are also being supplemented. Once the students have learnt these terms, it remains to familiarise them with the places where they are used in the design of CPSs and the func-

tions they perform, by seeing and “touching” the devices that make up CPSs in real life. To do this, we use the “Project based learning” method mentioned above, i. e. we choose a specific project. Students are introduced to the function that each component in the system performs individually (Fig. 1).



Fig. 1. Some components of the CPS for seeing and “touching”

Given the importance of group learning, we divide the group into sub-groups (student teams) of five to increase efficiency by comparing the tasks undertaken by the sub-groups. This creates a habit of working as a team and encourages the development of specific engineering skills, such as the ability to publicly explain new ideas and knowledge to team members.

Results and discussion

In this section we will discuss project selection, selection of components for real-time project execution, project execution and analysis of the results obtained as a result of project execution. The “Line following robot” project was chosen for the “Project based learning”. The “Line following robot” consists of hardware and software and is a prime simple example of a CPS (Fig. 2).

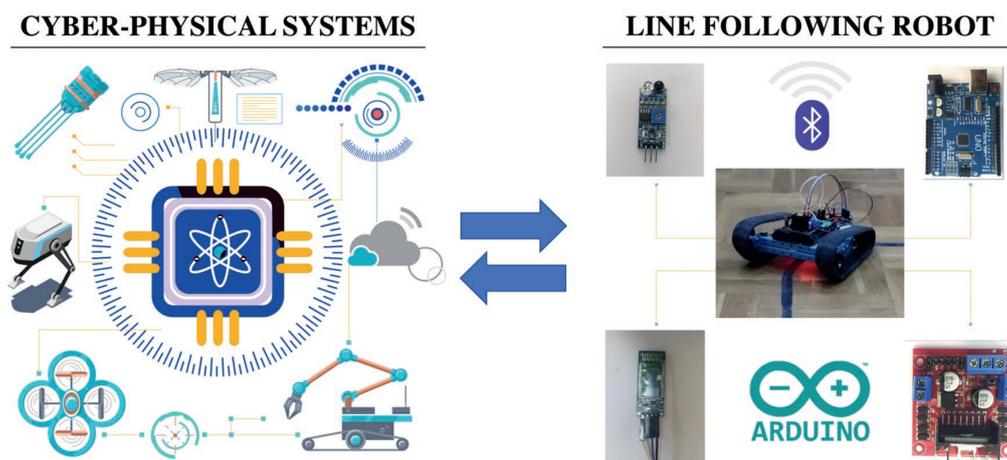


Fig. 2. “Line following robot” as and simple example of a cyber-physical systems

Line following robot is an autonomous robot which is able to follow a colored line that is drawn on the surface. As we can see from the definition, our robot must be able to follow a given line, i. e. it must be able to feel the line and receive information about it, for which we use an IR sensor. The next step is to process the data received from the sensor using the Arduino Uno platform and develop an algorithm for the program to send commands to control the DC motors and communicate with the wireless remote control. We use motor driver to control the movement and direction of the DC motors. We added the HC-06 Bluetooth module to this project to control the robot remotely in case of some technical problems.

This project allows students to interact in real time with sensors, actuators, data processing tools, programming and many others that are components of CPSs. Students are provided with all necessary equipment and components for the implementation of the project. The main goal of this project is to give students the opportunity to select the components of CPSs and develop an autonomous robot in the team that can move along the black line, controlled wirelessly (Bluetooth) if necessary, and to compare the performance of the teams with each other. The robot consists of the components depicted in Fig. 3.

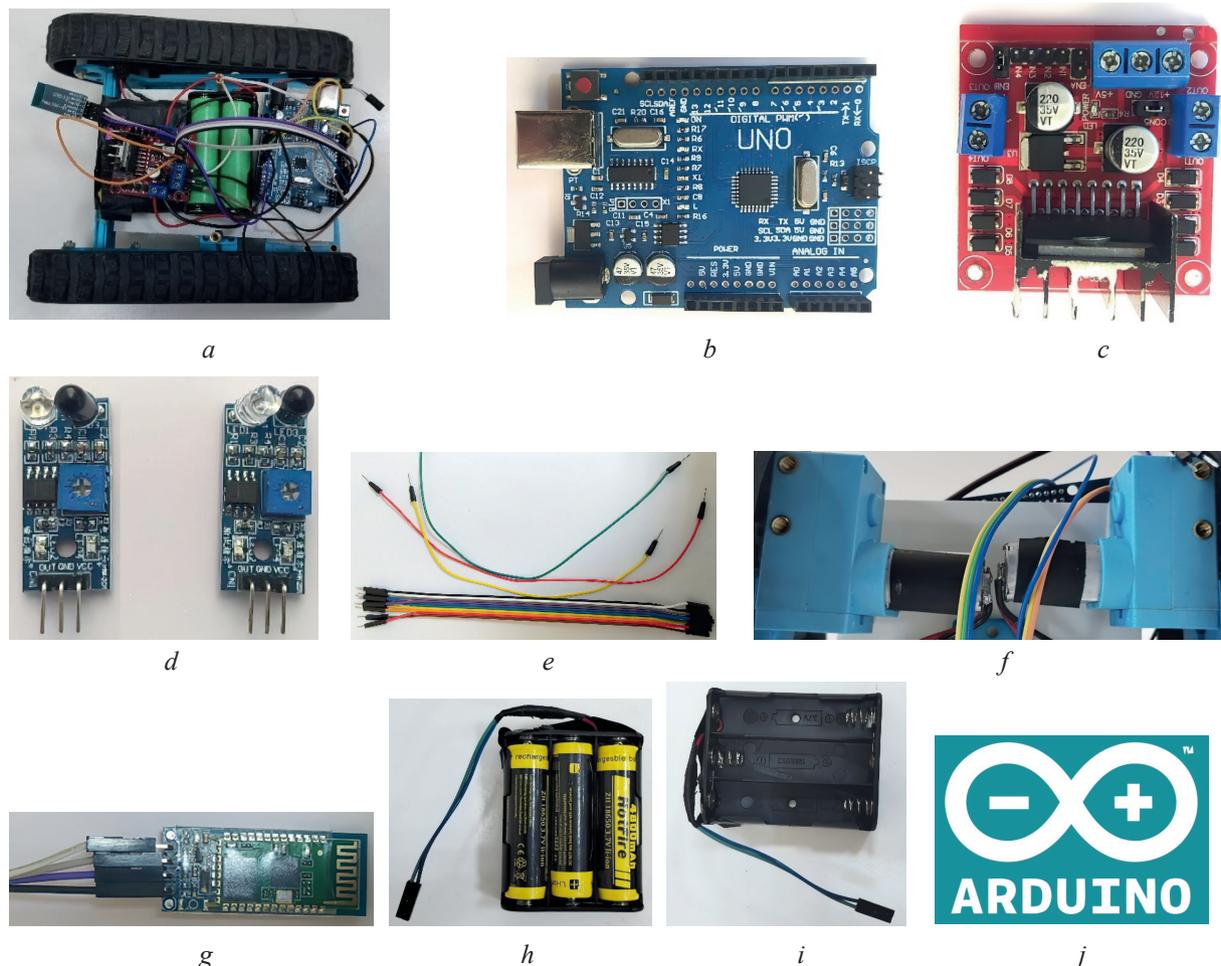


Fig. 3. Components of the line following robot: *a* – rolling chassis with wheels; *b* – Arduino Uno; *c* – motor driver L298N; *d* – IR sensors; *e* – connecting wires; *f* – DC motors; *g* – Bluetooth module HC-06; *h* – rechargeable batteries; *i* – battery box; *j* – Arduino software

The sub-group consisted of 2nd year students from the “Mechatronics and robotics majority”. These students had previously taken courses such as “Scientific fundamentals of innovative technologies”, “Physics”, “Mathematics”, “Mathematical statistics and probability theory”, “Programming” and “Engineering graphics” in different semesters. As the line following robot is controlled by the Arduino Uno platform, team members should be familiar with the Arduino programming language, as well as courses such as “Digital signal processing”, “Fundamentals of mechatronics”, “Fundamentals of robotics”. But the most important thing is not that they can fully understand these courses. The focus was on the students’ motivation and skills. Although the students had previously learnt the basic concepts in these courses, they did not complete the real project by ‘touching’ all the components. And this time they did a real project.

Sub-groups were formed taking into account the skills and abilities of the students. This is a common situation in engineering teams. The students are given a total of 48 hours to complete this project (16 hours of experimental lessons and 32 hours of additional lessons). The 16 hours of experimental lessons are carried out according to a timetable drawn up by the teachers (Tab. 1), and the 32 hours of extra lessons are carried out after the main lessons according to the timetable drawn up by the sub-groups themselves and agreed with the teacher.

Table 1. Examples of topics to be covered in the experimental lessons

No	Topic
1	An introduction to cyber-physical systems and some examples of them
2	Components of cyber-physical systems
3	Arduino platforms. The Arduino Uno platform
4	The Arduino programming language. Receiving data from sensors using the Arduino Uno platform
5	Controlling actuators with Arduino Uno
6	Digital signal processing with Arduino Uno
7	The line following robot and its components
8	Development of an algorithm for the movement of a line following robot on the Arduino Uno platform

Students carry out their research work in the relevant laboratories of the ETUT Scientific and Technological Center after the main classes. One of the main activities of the ETUT Scientific and Technological Center is to provide technical and methodological support to university teachers, graduate students, master and undergraduate students in conducting research and improving their education. Students and teachers of the Faculty of Cyberphysical Systems have carried out several scientific projects [18–26] at the Department of Intelligent and Robotic Technologies of the ETUT Scientific and Technological Center.

The main reason for the choice of the Arduino platform for the teaching of components of CPSs to students in experimental classes is the availability of open source projects on the same platform. Open source articles and video tutorials are presented in a way that is easy for students to understand, providing additional opportunities for self-learning and self-improvement. A further advantage is that the control system consists of both hardware and software components. The line following robot team project consisted out of four phases (Tab. 2).

Table 2. Phases of the line following robot team project

No	Phase
1	Choosing components and studying their purpose and working principles
2	Building the robot, putting all the components in their places
3	Developing and uploading a code algorithm for Arduino Uno
4	Testing the ready-to-use Line following robot experimentally

In the first phase, the students are explained the peculiarities of component selection and the technical characteristics of these components for each specific project. They are then introduced to all the components selected to build a line following robot, and the functions that each component performs. In the second phase, the components selected in the first phase are installed on the robot chassis together with the students. These components are then connected to each other, to the power supply and to the Arduino Uno by connecting wires. As a result, robots were built for each sub-group, as shown in Fig. 4.

In the third phase, the task is to move the robot configured in the previous stage. To do this, algorithms are created in the Arduino programming language for the motor driver that controls the DC motor, the IR sensor and the Bluetooth module. Each of these algorithms is loaded and tested individually on Arduino Uno controller. After checking the correctness of the algorithms, all of them are loaded with controls in the form of a single sequence of code. Fourth phase is the final decisive phase in our case, in which student teams test in real time the CPS they have developed – a line following robot. By observing the robot's movement along the line, they make the necessary adjustments to the code. Student teams can also control the robot using a smartphone via Bluetooth wireless connection. After each phase, the sub-groups presented their work. In the presentation, they presented a list of the literature used to complete this phase and what they learned from the relevant literature to complete this phase of the project. After the allotted 48 hours, all teams tested their completed projects on the track with lines. Some of the problems encountered with the prosthetics were discussed with other groups and teachers. Several competitions were organised to compare the projects with each other. When the students were asked for their opinion in order to determine the effectiveness of the teaching methodology used, they noted that for the first time they had mastered the skills of teamwork, explaining their ideas to each other, typical for engineers, and that they realized that what they had learned in the classroom could be applied in real life.

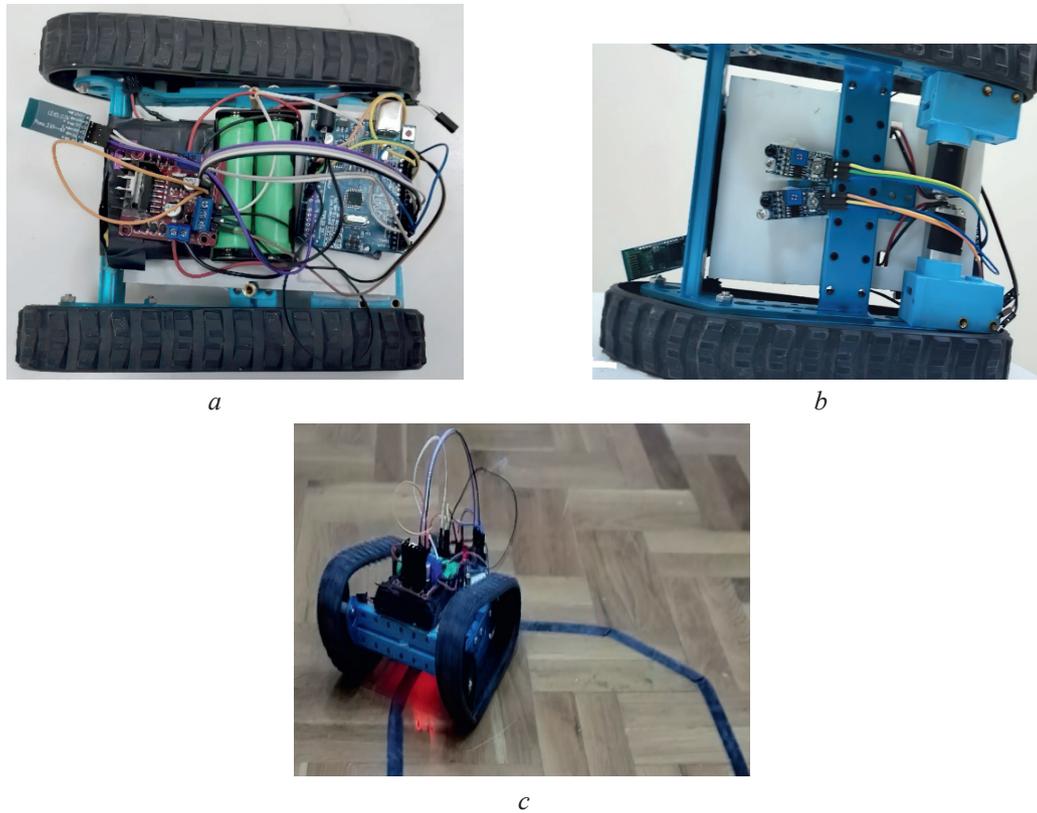


Fig. 4. Ready-to-use line following robot: *a, b* – top and bottom views, respectively;
c – line following robot in process

Conclusion

In this article the teaching method has been described where we have used to teach second year mechatronics and robotics majority students of the components of CPSs using a line following robot. Our aim is to give students the opportunity to learn how to work in a team and put it into practice. The students were given the basic information about CPSs and the opportunity to get to know each of the components that make up the CPS separately. During the 48-hour placement, the sub-groups worked as a team to build a line-following robot. In order to determine the results of the teaching method, the students were asked about the results. Students noted that after building the line following robot, their attitude towards CPSs changed and they became motivated to carry out larger projects related to CPSs. As a result of what they have learned in this course, we expect students to successfully complete course projects in their 3rd year and diploma projects in their final 4th year.

References

1. *ETUT Reporter in THE (Times Higher Education)*. Available: <https://www.timeshighereducation.com/world-university-rankings/oguz-han-engineering-and-technology-university-turkmenistan> (Accessed 20 February 2024).
2. *ETUT Membership in CDIO*. Available: <http://www.cdio.org/cdio-action/school-profiles/oguz-han-engineering-and-technology-university-turkmenistan> (Accessed 20.02.2024).
3. *Overall Rankings 2023 – UI GreenMetric*. Available: <https://greenmetric.ui.ac.id/rankings/overall-rankings-2023> (Accessed 20 February 2024).
4. *ETUT Membership in IAU*. Available: <https://www.iau-hesd.net/university/oguz-han-engineering-and-technology-university-turkmenistan> (Accessed 20 February 2024).
5. *ETUT Membership in UniRank*. Available: <https://www.4icu.org/reviews/17169.htm> (Accessed 20 February 2024).
6. *About ETUT*. Available: <https://etut.edu.tm/about-us> (Accessed 20 February 2024).
7. Bi Z., Xu L., Ouyang P. (2022) Smart Manufacturing – Theories, Methods, and Applications. *Machines*. 10. <https://doi.org/10.3390/machines10090742>.

8. Parhi S., Joshi K., Akarte M. (2021) Smart Manufacturing: A Framework for Managing Performance. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34 (3), 227–256. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2020.1858506>.
9. Gadepally V., Krishnamurthy A., Ozguner U. (2014) A Hands-on Education Program on Cyber Physical Systems for High School Students. *arXiv:1408.0521 [cs.CY]*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1408.0521>.
10. Ueter N., Chen K., Chen J.-J. (2020) Project-Based CPS Education: A Case Study of an Autonomous Driving Student Project. *IEEE Design and Test*. 37 (6), 39–46. <https://doi.org/10.1109/MDAT.2020.3012085>.
11. Nelke S. A., Winokur M. (2020) Introducing IoT Subjects to an Existing Curriculum. *IEEE Design and Test*. 37 (6), 24–30. <https://doi.org/10.1109/mdat.2020.3005358>.
12. Ghosh S., Mondal A., Kindt P. H., Sharma P., Agarwal Y., Dey S., et al. (2020) A Programmable Open Architecture Testbed for CPS Education. *Design and Test*. 37 (6), 31–38. <https://doi.org/10.1109/MDAT.2020.3006798>.
13. Lee E. A. (2015) The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. *Sensors*. 15 (3), 4837–4869. <https://doi.org/10.3390/s150304837>.
14. Gunes V., Peter S., Givargis T., Vahid F. (2014) A Survey on Concepts, Applications, and Challenges in Cyber-Physical Systems. *KSI Transactions on Internet and Information Systems*. 4242–4268. <https://doi.org/10.3837/tiis.2014.12.001>.
15. Alguliyev R., Imamverdiyev Y., Sukhostat L. (2018) Cyber-Physicalsystems and Their Security Issues. *Computers in Industry*. 100, 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.017>.
16. Humayed A., Lin J., Li F., Luo B. (2017) Cyber-Physical Systems Security – A Survey. *arXiv:1701.04525 [cs.CR]*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1701.04525>.
17. Sadiku M. N. O., Wang Y., Cui S., Musa S. M. (2017) Cyber-Physical Systems: A Literature Review. *European Scientific Journal*. 13 (36), 52–58. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n36p52>.
18. Nokerov S., Hallayev D., Bashov S. (2020) “Android” Application Based Wirelessly Controlledmobile Roboticarm. *Science and Technology of Youth*. (1), 101–106.
19. Nokerov S., Hallayev D., Bashov S., Mashadov O., Garlyyev E., Pirjanov Y., et al. (2020) Remotely Controlled Mobile Robotic Arm. *Science, Technology and Innovative Technologies in the Prosperous Epoch of the Powerful State, Abstracts of Papers of the International Scientific Conference. Part II, June 12–13, Ashgabat, Turkmenistan*. 440–442.
20. Hojagulyyev P., Venkataraman A. P. (2022) Modern Automation Methods of Greenhouses. *Science, Technology and Innovative Technologies in the Period of the Revival of the New Epoch of the Powerful State, Abstracts of Papers of the International Scientific Conference. Part I, June 12–13, Ashgabat, Turkmenistan*. 197–199.
21. Nokerov S., Ishangulyyev R., Hojagulyyev P., Venkataraman A. P., Khan K. A. (2022) Technology Development of Automated Contactless Hand Sanitizer Dispenser System with IR Sensor and Based on a PIC Microcontroller. *In International Conference on Computer Systems and Technologies 2022 (CompSysTech '22), June 17, 18. University of Ruse, Ruse, Bulgaria; ACM, NY, USA*. 14–19. <https://doi.org/10.1145/3546118.3546131>.
22. Hojagulyyev P. E., Nokerov S. M., Annagurdov Y. A., Khan K. A. (2023) Innovative Technology for Smartcar Parking System. *Sustainable Development Goals: Youth Policy and Innovative Technologies, Proceedings of International Scientific-Practical Conference, Feb. 15–16, Oguzhan Engineering and Technology University of Turkmenistan. International Journal of Multidisciplinary Research Transactions*. 5 (4), 131–132. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7782931>.
23. Hojagulyyev P. E., Nokerov S. M., Tirkeshov A. T., Venkataraman A. P. (2023) Design of the Automatic Greenhouse Controller Using a PIC18F4550 Microcontroller. *Sustainable Development Goals: Youth Policy and Innovative Technologies, Feb. 15–16, Proceedings of International Scientific-Practical Conference, Oguzhan Engineering and Technology University of Turkmenistan. International Journal of Multidisciplinary Research Transactions*. 5 (4), 129–130. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7782911>.
24. Annagurdov Y. A., Atayeva B., Hojagulyyev P. E. (2023) Development of a Mobile Robot Controlled by Virtual Reality Technology. *Sustainable Development Goals: Youth Policy and Innovative Technologies, Proceedings of International Scientific-Practical Conference, Feb. 15–16, Oguzhan Engineering and Technology University of Turkmenistan. International Journal of Multidisciplinary Research Transactions*. 5 (4), 156–157. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7783075>.
25. Babayev A. K., Nokerov S. M., Jumanazarov A. N. (2023) Development of Smart System Forremote Control of Fan Coil Devicesof Heating and Cooling Systems. *Sustainable Development Goals: Youth Policy and Innovative Technologies, Proceedings of International Scientific-Practical Conference, Feb. 15–16, Oguzhan Engineering and Technology University of Turkmenistan. International Journal of Multidisciplinary Research Transactions*. 5 (4), 7–9. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7775693>.

26. Nokerov S., Akmyradov G., Badulescu D. (2023) Analysis of the Optimal Location of Bank Automated Teller Machines (ATMs) in Turkmenistan. *Oradea Journal of Business and Economics*. 8 (2), 103–113. <http://doi.org/10.47535/1991ojbe177>.

Authors' contribution

Charyyeva A. A. made literature review, performed experiments with student teams, prepared figures.

Nokerov S. M. carried out the formulation of the problem for the study, proposed topics, suggested and provided information on the experiment, and prepared the manuscript of the article.

Hojagulyyev P. E. helped to perform experiments and prepare the manuscript of the article.

Orazov A. M. helped to perform experiments.

Venkataraman A. P. gave some practical recommendations.

Thulasi Bikku gave some practical recommendations.

Information about the authors

Charyyeva A. A., Lecturer at the Department of Cyberphysical Systems, Oguzhan Engineering and Technology University of Turkmenistan (ETUT)

Nokerov S. M., Cand. of Sci. (Tech.), Senior Lecturer at the Department of Physics of High Technologies, Acting Dean of the Faculty of Cyberphysical Systems, ETUT

Hojagulyyev P. E., Lecturer at the Department of Cyberphysical Systems, ETUT

Orazov A. M., Lecturer at the Department of Nano- and Biomedical Electronics, Vice-Dean of the Faculty of Cyberphysical Systems, ETUT

Venkataraman A. P., PhD, Assistant Professor at the Department of Electrical and Computer Engineering, Mattu University

Thulasi Bikku, Associate Professor at the Department of Computer Science and Engineering, Amrita School of Computing Amaravati, Amrita Vishwa Vidyapeetham

Address for correspondence

744012, Turkmenistan,
Ashgabat, Koshi St., 100
Oguzhan Engineering and Technology
University of Turkmenistan
Tel.: +99 365 89-22-10
E-mail: suleyman.nokerov@etut.edu.tm
Nokerov Suleyman Malikmyradovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-52-58>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 005.5.378

МАТРИЧНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ И ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УЧРЕЖДЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

Е. А. БУЩИК, Н. И. ЛИСТОПАД

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

Поступила в редакцию 21.03.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Рассмотрена комплексная модель, описывающая и учитывающая взаимосвязи между бизнес-процессами, организационной структурой и информационными системами учреждения среднего специального образования. Для представления модели использован матричный подход с привлечением инструментария теории матриц. Описаны весовые коэффициенты взаимосвязи элементов модели с помощью методов экспертных оценок и с учетом зоны ответственности сотрудников при выполнении определенных бизнес-процессов. Построение модели основывается на описании операционного бизнес-процесса «Подготовка специалистов на уровне среднего специального образования», включающего подпроцессы теоретического и практического обучения. Полученная модель, состоящая из трех матриц, позволяет проводить учет и анализ организационных элементов структуры учреждения образования на наличие ошибок, оценки полноты и сплоченности взаимодействия структур с целью их дальнейшей оптимизации и автоматизации.

Ключевые слова: среднее специальное учреждение образования, бизнес-процесс, организационная структура, информационная система, теория матриц, весовые коэффициенты, оптимизация, автоматизация.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Бущик, Е. А. Матричный подход для моделирования взаимосвязей бизнес-процессов и организационной структуры учреждения образования / Е. А. Бущик, Н. И. Листопад // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 52–58. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-52-58>.

MATRIX APPROACH FOR MODELING THE INTERRELATIONSHIPS OF BUSINESS PROCESSES AND ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF AN EDUCATIONAL INSTITUTION

ELIZAVETA A. BUSHCHYK, NIKOLAI I. LISTOPAD

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

Submitted 21.03.2024

Abstract. The complex model describing and taking into account the interrelationships between business processes, organizational structure and information systems of a secondary special education institution is considered. To represent the model the matrix approach with the use of matrix theory tools is used. Weight coefficients of interrelation of model elements are described using the method of expert evaluation and taking into account the zone of responsibility of employees in the performance of certain business processes. The model construction is based on the description of the operational business process “Training of specialists at the level of secondary specialized education”, including subprocesses of theoretical and practical training. The obtained model, consisting of three matrices, allows for accounting and analysis of organizational elements of the educational institution structure

for errors, assessment of completeness and cohesion of interaction between structures in order to their further optimization and automation.

Keywords: secondary special education institution, business process, organizational structure, information system, matrix theory, weighting coefficients, optimization, automation.

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

For citation. Bushchyk E. A., Listopad N. I. (2024) Matrix Approach for Modeling the Interrelationships of Business Processes and Organizational Structure of an Educational Institution. *Digital Transformation*. 30 (2), 52–58. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-52-58> (in Russian).

Введение

В текущей ситуации быстро развивающейся экономики современным организациям необходимо постоянно улучшать и совершенствовать свою деятельность с целью поддержания имиджа и конкурентоспособности на рынке труда. Для этого требуются использование новых цифровых технологий и пересмотр подходов к управлению и организации бизнес-процессов.

Сегодня цифровая трансформация активно затрагивает управленческие бизнес-процессы оптимизации и автоматизации деятельности учреждений образования. Ключевыми причинами для оптимизации бизнес-процессов являются: уменьшение затрат или времени на выполнение определенных функций бизнес-процессов, изменение требований к деятельности организации, создание системы управления качеством и др. [1]. Один из эффективных инструментов в рамках оптимизации и дальнейшей стандартизации системы управления деятельностью учреждения образования – моделирование бизнес-процессов.

Бизнес-моделирование позволяет описать реальные процессы функционирования той или иной организации, в том числе учреждения образования, оценить эффективность, избежать чрезмерного разрастания численности персонала. Корректное моделирование бизнес-процессов снижает вероятность внутренней конкуренции между подразделениями организации, а также может стать эффективной базой для совершенствования деятельности учреждения образования. Результаты моделирования дают возможность минимизировать финансовые и временные потери, установить лишние операции, простои в работе сотрудников, избыточные информационные системы, дублирование, наличие неэффективных должностей и функций.

В соответствии с анализом внутренних локальных документов по обеспечению системы менеджмента качества в учреждениях высшего и среднего специального образования разработана схема бизнес-процессов, раскрывающая деятельность по подготовке специалистов со средним специальным образованием. Схема, изображенная на рис. 1, представлена в виде следующих основных бизнес-процессов в учреждениях среднего специального образования: управляющие – управляют функционированием образовательной системы; операционные (основные) – описывают образовательный процесс; поддерживающие (обеспечивающие) – обслуживают основную деятельность [2].



Рис. 1. Бизнес-процессы учреждения среднего специального образования
Fig. 1. Business processes of secondary specialized education institutions

Моделирование начинается с выбора приоритетных бизнес-процессов, после чего необходимо приступить к их детальному описанию, анализу и оптимизации. При детальном описании важной частью является формирование критериев оценки и оптимизации бизнес-процессов, в качестве которых выступают элементы деятельности учреждения образования:

- структура бизнес-процессов;
- организационная структура;
- структура функций информационных систем (например, информационная система документооборота, система менеджмента качества, стратегии, охрана труда и т. д.).

Построение комплексной модели бизнес-процессов

Для совершенствования бизнес-процессов применяются различные виды моделирования: функциональное, объектное, имитационное и др. Для разработки модели, описывающей и учитывающей взаимосвязи структур организации, предлагается использовать матричный подход с привлечением инструментария теории матриц [3]. Модель состоит из следующих трех взаимосвязанных матриц:

- организационная структура–бизнес-процессы (ОБ) – матрица, устанавливающая взаимосвязь между организационной структурой и структурой бизнес-процессов;
- информационные системы–бизнес-процессы (ИБ) – матрица, устанавливающая взаимосвязь между структурами информационных систем и бизнес-процессов;
- организационная структура–информационные системы (ОИ) – матрица, устанавливающая взаимосвязь между организационной структурой и структурой информационных систем.

Строки матрицы ОБ (табл. 1) отображают организационную структуру учреждения образования, столбцы выступают функциями бизнес-процессов, выполняемыми тем или иным должностным лицом или организационной структурой. Значения, стоящие на пересечении строк и столбцов матрицы, показывают, какое подразделение (или должностное лицо) ответственно за выполнение функции бизнес-процесса. При этом значения находятся в диапазоне от 1 до 4, принимая следующие зоны ответственности в соответствии с матрицей RACI (матрица ответственности ролей в бизнес-процессах: R – responsible – непосредственный исполнитель, несет ответственность за выполнение работы; A – accountable – руководитель, отвечает за результат, влияет на исполнителей; C – consulted – эксперт, предоставляет необходимую информацию; I – informed – кого необходимо проинформировать о результатах выполнения): 1 – I; 2 – C; 3 – A; 4 – R.

Таблица 1. Матрица ответственности организационная структура–бизнес-процессы
Table 1. Responsibility matrix organizational structure–business processes

Организационная структура / Organizational structure	Бизнес-процесс / Business process													Итого / Total
	Подготовка специалистов на уровне среднего специального образования / Training of specialists at the level of secondary specialized education													
	Теоретическое обучение / Theoretical training						Практическое обучение / Practical training							
	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₆	A ₂₇	
B ₁₁	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	1	33
B ₁₂	4	3	4	3	1	4	0	0	0	0	0	0	0	20
B ₁₃	2	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	3	10
B ₁₄	0	0	0	0	0	0	4	4	4	3	3	4	4	26
B ₁₅	4	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	10
B ₂₁	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	3	0	3	24
B ₂₂	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	3	0	3	24
B ₂₃	1	4	1	4	4	1	0	0	0	4	4	0	1	24
B ₃₁	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4
B ₄	0	4	1	4	4	0	0	0	0	4	0	0	0	17
Итого	22	23	15	20	18	20	8	7	7	12	14	7	15	

В табл. 1 введены следующие обозначения:

A_1 – теоретическое обучение: A_{11} – разработка документации; A_{12} – процесс обучения; A_{13} , A_{14} , A_{15} – текущая, промежуточная и итоговая аттестации соответственно; A_{16} – анализ;

A_2 – практическое обучение: A_{21} – разработка документации; A_{22} – заключение договоров; A_{23} – распределение по организациям; A_{24} – проведение практики; A_{25} – подведение итогов практики; A_{26} – оплата труда работников баз практики; A_{27} – анализ.

Можно ввести обозначения структурных подразделений и должностных лиц в виде следующих множеств:

B_1 – руководство: B_{11} – директор; B_{12} , B_{13} – заместитель директора по учебной и учебно-методической работе соответственно; B_{14} , B_{15} – заместитель директора по производственному обучению и воспитательной работе соответственно;

B_2 – отделение: B_{21} – заведующий отделением; B_{22} – председатель цикловой комиссии; B_{23} – преподаватель;

B_3 – учебно-методическое объединение: B_{31} – методист; B_4 – обучающиеся.

Отличие предлагаемого подхода от известных состоит в весовых коэффициентах, которые авторы условно выбрали в диапазоне от 1 до 4. В известных подходах [4] все коэффициенты равны единице, что указывает лишь на то, что данное лицо имеет отношение к данному бизнес-процессу. Здесь же предлагается указать и степень ответственности должностного лица при реализации того или иного бизнес-процесса. Диапазон коэффициентов от 1 до 4 выбран эмпирически на основании экспертной оценки авторов и может быть изменен конечным пользователем в ту или иную сторону.

Предлагается следующий алгоритм действий по использованию матрицы, представленной в табл. 1. Для количественного анализа взаимосвязей необходимо просуммировать все строки и столбцы матрицы. Если сумма строк или столбцов матрицы равна нулю, то это означает наличие грубой ошибки во взаимосвязи бизнес-процессов и организационной структуры [5]. Если сумма больше заранее заданного значения N , то функционал данного должного лица перегружен, и это является основанием для переработки регламентов исполнения процессов с учетом необходимости выполнения нескольких подпроцессов одним должностным лицом или переработки регламента подпроцесса. Значение N на этом этапе исследований также может быть выбрано эмпирически. В дальнейшем для выбора N необходимо четкое его обоснование, опираясь на результаты теории оптимизации и выбора.

Таким образом, для создания подобной матрицы необходимы иерархические классификаторы бизнес-процессов и организационной структуры учреждения образования. Наличие матрицы ответственности позволяет проводить анализ взаимосвязи функций бизнес-процессов с организационной структурой, выявлять ошибки, выполнять коррекцию и оптимизацию их взаимосвязей. Взаимосвязь информационных систем с бизнес-процессами продемонстрирована в табл. 2.

По строкам в табл. 2 представлены бизнес-процессы, по столбцам приведены возможные информационные системы, которые могут применяться с данными бизнес-процессами. Матрица позволяет определить частоту использования информационных систем в нескольких бизнес-процессах для дальнейшего принятия решения о возможном пересмотре регламента применения функций информационной системы в отмеченных бизнес-процессах. Необходимо отметить, что столбцы матрицы ОБ (табл. 1) и строки матрицы ИБ (табл. 2) одинаковы. Следовательно, можно применить одно из правил теории матриц, где описывается, что произведение двух матриц дает третью матрицу, в которой исключена одинаковая сторона. В рассматриваемом в статье случае – сторона с бизнес-процессами. Исходя из этого, при умножении матриц ОБ и ИБ получим матрицу ОИ, приведенную в табл. 3. Матрица ОИ показывает степень автоматизации деятельности организационных подразделений и позволяет выявить избыточность или, наоборот, отсутствие использования функций информационной системы определенной организационной структурой. При пустой строке матрицы делается вывод, что в подразделении не используется ни одна информационная система, поэтому необходимо пересмотреть бизнес-процессы в подразделении, выявить причину отсутствия автоматизации и принять решение по внедрению необходимых информационных систем.

Таблица 2. Матрица взаимосвязи информационных систем с бизнес-процессами
Table 2. Matrix of interrelation of information systems with business processes

Бизнес-процесс / Business process		Информационная система / Information system							Итого / Total
		ПО для хранения и обработки текстовой информации / Software for storing and processing text information	СМДО / Interdepartmental document flow system	Электронная почта / Email	БД нормативно- правовой инфор- мации / Regulatory information database	РАС «Электронное образование» / Republican auto- mated system “Electronic education”	СЭО / E-learning system		
Подготовка специалистов на уровне среднего специального образования / Training of specialists at the level of secondary specialized education	Теоретическое обучение / Theoretical training	A ₁₁	1	1	1	1	0	0	4
		A ₁₂	1	0	1	1	0	1	4
		A ₁₃	1	0	1	1	0	1	4
		A ₁₄	1	0	1	1	0	1	4
		A ₁₅	1	0	1	1	0	0	3
		A ₁₆	1	1	1	1	1	0	5
	Практическое обучение / Practical training	A ₂₁	1	1	1	1	0	0	4
		A ₂₂	1	0	1	1	0	0	3
		A ₂₃	1	0	1	1	0	0	3
		A ₂₄	1	0	1	1	0	0	3
		A ₂₅	1	0	1	1	0	0	3
		A ₂₆	1	0	1	1	0	0	3
		A ₂₇	1	1	1	1	0	0	4
	Итого		13	4	13	13	1	3	

Обозначения: ПО – программное обеспечение; СМДО – система межведомственного документооборота; БД – база данных; РАС – республиканская автоматизированная система; СЭО – система электронного обучения.

Таблица 3. Матрица взаимосвязи организационной структуры с информационными системами
Table 3. Matrix of relationship between organizational structure and information systems

Организационная структура / Organizational structure	Информационная система / Information system							Итого / Total
	ПО для хранения и обработки текстовой информации / Software for storing and processing text information	СМДО / Interdepartmental document flow system	Электронная почта / Email	БД нормативно- правовой информации / Regulatory information database	РАС «Электронное образование» / Republican automated system “Electronic education”	СЭО / E-learning system		
B ₁₁	33	10	33	33	3	9	121	
B ₁₂	19	9	19	19	1	7	74	
B ₁₃	10	10	10	10	3	0	43	
B ₁₄	26	8	26	26	0	0	86	
B ₁₅	10	7	10	10	3	3	43	
B ₂₁	24	9	24	24	3	9	93	
B ₂₂	24	9	24	24	3	9	93	
B ₂₃	24	3	24	24	1	9	85	
B ₃₁	4	4	4	4	2	0	18	
B ₄	17	0	17	17	0	9	60	
Итого	191	69	191	191	19	55		

Если столбец матрицы ОИ пустой, это значит, что функции информационной системы не используются ни в одном подразделении, следовательно, нужно либо пересмотреть бизнес-процессы и понять, почему функции информационной системы стали избыточными и нигде не используются, либо отказаться от данной информационной системы. В случае, если сумма строки или столбца больше некоторого наперед заданного числа N , необходимо изменить регламенты выполнения бизнес-процессов и повторно провести обучение сотрудников использованию соответствующих функций информационной системы.

Цифры, стоящие в строках и столбцах табл. 3, показывают значимость (востребованность, частота использования) той или иной информационной системы для руководителей и специалистов, обозначенных как B_{ij} . Чем больше цифры, тем выше значимость. Сумма по столбцам указывает на востребованность той или иной информационной системы для выбранных руководителей и специалистов в целом. Так, самыми востребованными являются информационные системы «ПО для хранения и обработки текстовой информации», «БД нормативно-правовой информации» и «Электронная почта», имеющие 191 балл. Сумма по строкам означает, насколько востребованы все выбранные информационные системы для того или иного руководителя, обозначенного как B_{ij} . Так, для директора – B_{11} – общая значимость всех выбранных информационных систем наибольшая из приведенных в табл. 3 B_{ij} и составляет 121.

Разработанная модель, описывающая и учитывающая взаимосвязи структур организации, позволяет представить взаимоотношения данных структур в виде куба, где оси X будут соответствовать бизнес-процессы, оси Y – организационные структуры, оси Z – информационные системы. Структура предлагаемого подхода изображена в виде куба на рис. 2.

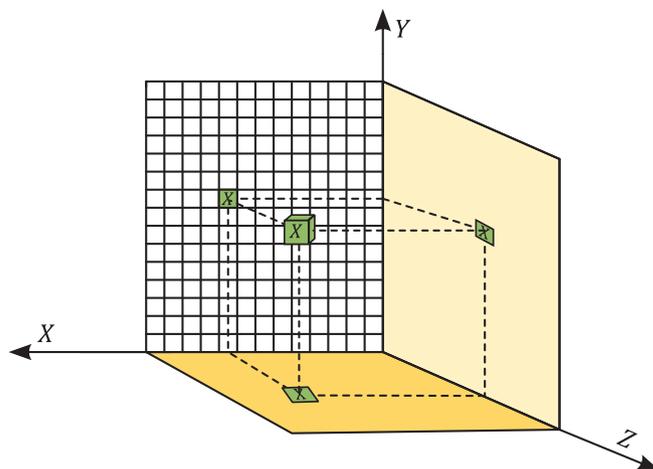


Рис. 2. Трехмерный куб взаимосвязей элементов деятельности организации
Fig. 2. Three-dimensional cube of interrelationships of elements of the organization's activities

Представление деятельности организации в виде трехмерного куба позволяет объединить разные элементы организации, а именно – организационную структуру, бизнес-процессы и информационные системы, что дает возможность более полно и корректно описать деятельность организации, показать взаимосвязи между различными бизнес-процессами и структурными подразделениями с учетом функций информационных систем. Такой подход помогает выявить следующие несоответствия во взаимодействии структур:

- несогласованность по входам и выходам между взаимодействующими бизнес-процессами;
- зоны ответственности подразделений за бизнес-процессы;
- зоны пересечения ответственности разных подразделений за один и тот же бизнес-процесс;
- тупиковые бизнес-процессы, не завершающиеся результатом;
- повторение бизнес-процессов или параллельно выполняемые бизнес-процессы.

Заключение

1. В соответствии с анализом внутренних локальных документов по обеспечению системы менеджмента качества в учреждениях высшего и среднего специального образования разработана схема бизнес-процессов, раскрывающая деятельность по подготовке специалистов со средним специальным образованием.

2. Получена комплексная модель, описывающая и учитывающая взаимосвязи между бизнес-процессами, организационной структурой и информационными системами учреждения среднего специального образования. Модель состоит из трех матриц и позволяет проводить учет и анализ организационных элементов структуры учреждения образования на наличие ошибок, оценки полноты и сплоченности взаимодействия структур с целью их дальнейшей оптимизации и автоматизации.

3. С помощью разработанной модели взаимоотношения структур организации можно представить в виде куба, что позволяет объединить разные элементы организации, а именно – организационную структуру, бизнес-процессы и информационные системы. Это дает возможность более полно и корректно описать деятельность организации, показать взаимосвязи между бизнес-процессами и структурными подразделениями с учетом функций информационных систем.

Список литературы

1. Применение инструментов имитационного моделирования при оптимизации бизнес-процессов / А. Л. Миронова [и др.] // Экономика и управление народным хозяйством. 2020. № 11. С. 49–53.
2. Листопад, Н. И. Модель управления учебным процессом в учреждениях среднего специального образования / Н. И. Листопад, Е. А. Бущик // Цифровая трансформация. 2023. Т. 2, № 29. С. 52–59. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-52-59>.
3. Переверзев, П. П. Применение матричного подхода для моделирования и анализа взаимосвязей структур предприятия / П. П. Переверзев // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. Т. 41, № 10-1. С. 63–67.
4. Методы принятия управленческих решений / П. В. Иванов [и др.]; 2-е изд. испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2022.
5. Переверзев, П. П. Моделирование и анализ архитектуры предприятия на основе матричного подхода / П. П. Переверзев // Образование и наука в современных условиях. 2015. Т. 5, № 4. С. 208–211.

References

1. Mironova A. L., Gavriluk E. Yu., Guslyakova A. V., Svalova A. S., Gonchar V. N. (2020) Application of Simulation Modeling Tools in Optimizing Business Processes. *Economics and Management of the National Economy*. (11), 49–53.
2. Listopad N. I., Bushchik E. A. (2023) Model of Educational Process Management in Institutions of Secondary Special Education. *Digital Transformation*. 29 (2), 52–59. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-29-2-52-59> (in Russian).
3. Pereverzev P. P. (2015) The Use of the Matrix Approach for Modeling and Analysis of the Relationships Between Structures of Enterprise. *International Research Journal*. 41 (10-1), 63–67 (in Russian).
4. Ivanov P. V., Dashkova I. A., Tkachenko I. V., Kostylev V. I., Zakharchenko N. S. (2022) *Methods of Making Management Decisions*. Moscow, Yurait Publishing House (in Russian).
5. Pereverzev P. P. (2015) Modeling and Analysis of Enterprise Architecture Based on the Matrix Approach. *Education and Science in Modern Conditions*. 5 (4), 208–211 (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Бущик Е. А., асп. каф. информационных радиотехнологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Листопад Н. И., д-р техн. наук, проф., зав. каф. информационных радиотехнологий, БГУИР

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. П. Бровки, 6
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Тел.: +375 33 609-47-10
E-mail: e.bushchik@bsuir.by
Бущик Елизавета Александровна

Information about the authors

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

Listopad N. I., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Head of the Information Radiotechnologies Department, BSUIR

Address for correspondence

220103, Republic of Belarus,
Minsk, Brovki St., 6
Belarusian State University
of Informatics and Radioelectronics
Tel.: +375 33 609-47-10
E-mail: e.bushchik@bsuir.by
Bushchik Elizaveta Alexandrovna



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-59-66>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 681.5

СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ В ЭПОХУ ЦИФРОВИЗАЦИИ

А. Л. МАКАРЕВИЧ¹, Л. И. МАТЫНА², С. М. СОКОВНИЧ¹

¹Приднестровский государственный университет имени Т. Г. Шевченко
(г. Тирасполь, Приднестровье, Молдова)

²Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»
(г. Москва, Российская Федерация)

Поступила в редакцию 20.03.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Предложены примеры выполнения лабораторных работ по схемотехническому моделированию работы простейших аналоговых устройств – усилителей. Исследования выполнены с помощью программы схемотехнического моделирования LTSpice, которая используется при подготовке студентов инженерных специальностей.

Ключевые слова: схемотехническое моделирование, параметры усилителей, амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики, обучение схемотехнике.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Макаревич, А. Л. Схемотехническое моделирование и подготовка инженерных кадров в эпоху цифровизации / А. Л. Макаревич, Л. И. Матына, С. М. Соковнич // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 59–66. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-59-66>.

CIRCUIT MODELING AND TRAINING OF ENGINEERING PERSONNEL IN THE ERA OF DIGITALIZATION

ALEXANDER L. MAKAREVICH¹, LARISA I. MATYNA², SERGEY M. SOKOVNICH¹

¹Pridnestrovian State University named after T. G. Shevchenko (Tiraspol, Transnistria, Moldova)

²National Research University of Electronic Technology (Moscow, Russian Federation)

Submitted 20.03.2024

Abstract. Examples of laboratory work on circuit modeling of the operation of the simplest analog devices – amplifiers – are offered. The research was carried out using the LTSpice circuit modeling program, which is used for training engineering students.

Keywords: circuit modeling, amplifier parameters, amplitude-frequency and phase-frequency characteristics, circuit engineering training.

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

For citation. Makarevich A. L., Matyna L. I., Sokovnich S. M. (2024) Circuit Modeling and Training of Engineering Personnel in the Era of Digitalization. *Digital Transformation*. 30 (2), 59–66. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-59-66> (in Russian).

Введение

Подготовка специалистов по направлению «Электроника и микроэлектроника» в Приднестровском государственном университете имени Т. Г. Шенченко началась еще в середине 90-х гг. прошлого века, а по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» – в 2001 г. Подготовка велась на физико-математическом факультете в рамках специальности «Физика», учебно-методическое руководство осуществлялось на физическом факультете Московского государственного университета. Учебные планы регламентировались образовательными стандартами направления «Физика», которые предусматривали изучение шести разделов общей и шести разделов теоретической физики. При этом перечни дисциплин специализаций были взяты из соответствующих стандартов по подготовке инженеров. С 2014 г. было принято решение о подготовке специалистов с инженерной квалификацией по перечисленным направлениям с двухуровневым образованием, т. е. бакалавров и магистров. И в первом, и во втором направлениях дисциплины, связанные со схемотехникой, имели различные варианты названий, но относились к базовому блоку Б1 в учебных планах [1, 2].

Схемотехническое моделирование

Для качественного изучения схемотехники требуется не только учебная литература таких авторов, как П. Хоровиц, У. Хилл [3], У. Титце, К. Шенк [4] и И. П. Степаненко [5], но освоение схемотехнического моделирования типовых конфигураций схем усилителей, фильтров и цифровых устройств с созданием собственных рабочих библиотек. После чего можно приступать к выполнению лабораторных работ с использованием измерительных приборов и стендов. Такой подход к изучению схемотехники делает студентов более подготовленными к экспериментальным исследованиям по выявлению работоспособности электронных устройств. Для примера рассмотрим три лабораторные работы по изучению принципов функционирования и характеристик усилителей.

Первая работа – это схема усилителя с общим эмиттером (ОЭ). Может выполняться в программе схемотехнического моделирования LTspice или в любой другой spice-совместимой программе. В процессе работы проводятся следующие виды анализа: выбор рабочей точки (анализ **.OP**), анализ переходного процесса при усилении синусоидального сигнала (анализ **.TRAN**), частотный анализ для получения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик (анализ **.AC**) и анализ по постоянному току (**.DC**) для получения передаточных характеристик. Усилитель, собранный по схеме с ОЭ, – однокаскадный. Состоит из четырех резисторов ($R1$ – $R4$) и транзистора ($Q1$) (рис. 1). Такой усилитель обычно предназначен для предварительного усиления непрерывных или гармонических синусоидальных сигналов по напряжению.

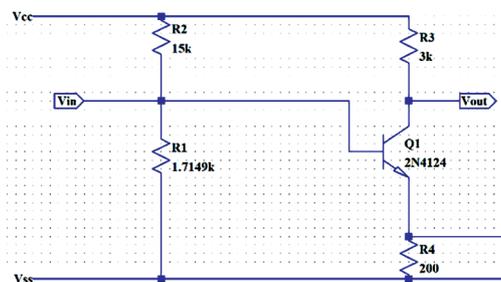


Рис. 1. Однокаскадный усилитель, собранный по схеме с общим эмиттером
Fig. 1. Single-stage amplifier assembled according to a common emitter circuit

Основными элементами каскада являются: делитель напряжения на резисторах $R1$ и $R2$, нагрузочный резистор $R3$, резистор $R4$, стабилизирующий работу биполярного транзистора n – p – n -типа ($Q1$). Эти элементы образуют усилительный каскад. Входной сигнал V_{in} подается на базу транзистора, а выходной V_{out} определяется падением напряжения на резисторе $R3$. Кроме того, за счет включения в эмиттерную цепь резистора $R4$ в схеме возникает отрицательная обратная связь по постоянному и переменному току. Она осуществляет температурную стабилизацию рабочей точки транзистора. Полярность напряжения источника питания V_{cc} положительна. Это обеспечивает для транзистора n – p – n -типа смещение коллекторного перехода в обратном, а эмиттерного перехода – в прямом направлении, т. е. активный (усилительный) режим работы транзистора $Q1$. Для проверки работы усилителя необходимо собрать соответствующую схему, показанную на рис. 2.

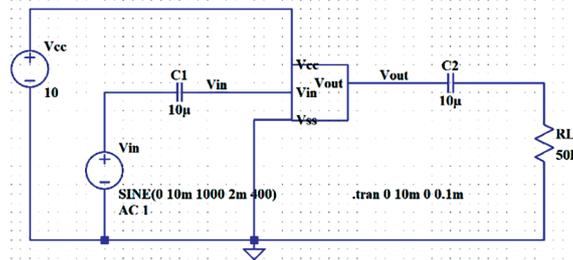


Рис. 2. Схема проверки работы усилителя с общим эмиттером
Fig. 2. Circuit for testing the operation of an amplifier with a common emitter

На рис. 2 конденсаторы $C1$ и $C2$ являются разделительными. Они обеспечивают изоляцию (разделение) источника сигнала и нагрузки от каскада по постоянному току и соединение (связь) их по переменной составляющей между собой. Кроме перечисленных элементов принципиальной схемы, при усилении синусоидального сигнала от источника V_{in} необходим источник постоянного напряжения V_{cc} , вырабатывающий 10 В, и нагрузочный резистор R_L .

Идеальный усилитель должен увеличивать входной сигнал в заданное число раз без изменения формы сигнала. Причем усилитель с ОЭ инвертирует входной сигнал. При усилении синусоидального сигнала могут возникать искажения, которые бывают двух видов: линейные и нелинейные. На рис. 3 показаны осциллограммы входного и выходного сигналов усилителя с ОЭ. Приведенный результат моделирования показывает отсутствие нелинейных искажений в усиленном сигнале при коэффициенте усиления порядка 10.

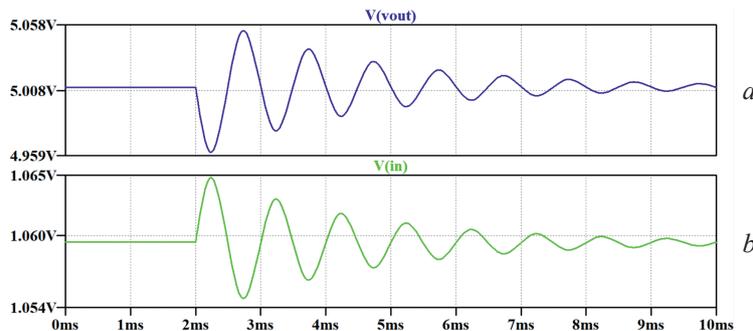


Рис. 3. Осциллограммы входного (a) и выходного (b) сигналов усилителя с общим эмиттером
Fig. 3. Oscillograms of the input (a) and output (b) signals of an amplifier with a common emitter

Исследование частотных характеристик усилителя

Для получения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик усилителя (рис. 4) необходимо провести частотный анализ **.AC**. Схема, изображенная на рис. 2, позволяет это сделать, перейдя от анализа **.TRAN** к **.AC**, задав при этом вид шкалы изменения частоты (декадно), число точек на декаду и необходимый диапазон частот. Характеристики, приведенные на рис. 4, получены при отсутствии конденсатора $C1$, подключаемого параллельно резистору $R4$ (рис. 1).

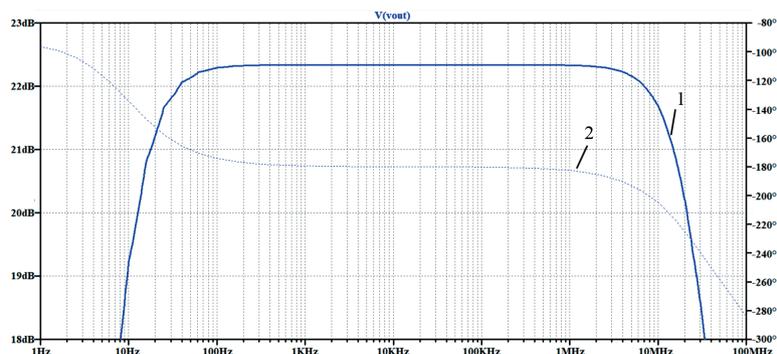


Рис. 4. Амплитудно-частотная (1) и фазочастотная (2) характеристики усилителя с общим эмиттером
Fig. 4. Amplitude-frequency (1) and phase-frequency (2) characteristics of an amplifier with a common emitter

С целью получения передаточных характеристик усилительного каскада, построенного по схеме с ОЭ, необходимо провести анализ по постоянному току **.DC**. Для этого нужно задать диапазон изменений входного сигнала от источника V_{in} и исключить из схемы конденсатор $C1$. В результате получим статические передаточные характеристики тока и напряжения усилительного каскада (рис. 5).

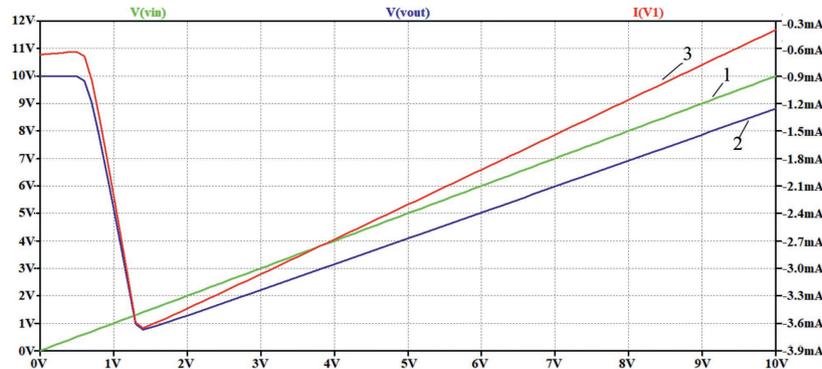


Рис. 5. Статические передаточные характеристики напряжения (1, 2) и тока (3) усилительного каскада с общим эмиттером

Fig. 5. Static transfer characteristics of voltage (1, 2) and current (3) of an amplifier stage with a common emitter

Вторая работа – изучение принципа работы усилительного каскада, собранного на биполярном транзисторе по схеме с общей базой (ОБ) и исследование влияния элементов принципиальной схемы на его частотные и временные характеристики. Может выполняться в LTspice или любой другой spice-совместимой программе. Проводятся такие же виды анализа, как и для первой лабораторной работы.

Усилитель, собранный по схеме с ОБ, – однокаскадный. Состоит из четырех резисторов ($R1$ – $R4$) и транзистора ($Q1$) (рис. 6). Такой усилитель обычно используется для усиления непрерывных или гармонических синусоидальных сигналов по напряжению или току в устройствах, работающих на высоких частотах.

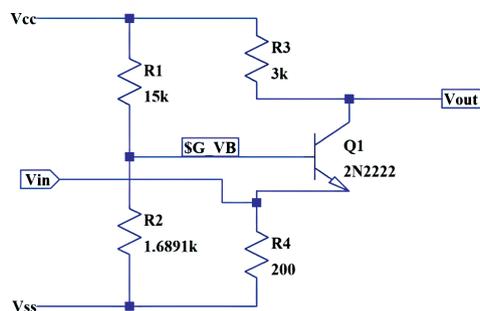


Рис. 6. Однокаскадный усилитель, собранный по схеме с общей базой
Fig. 6. Single-stage amplifier assembled according to a common base circuit

Основные элементы каскада такие же, как и на рис. 1. Входной сигнал V_{in} подается на эмиттер транзистора, а выходной V_{out} определяется падением напряжения на резисторе $R3$. Кроме того, резистор $R4$ является нагрузкой для входного сигнала. Полярность напряжения источника питания V_{ss} положительна. Это обеспечивает для транзистора n - p - n -типа смещение коллекторного перехода в обратном, а эмиттерного перехода – в прямом направлении, т. е. активный (усилительный) режим работы транзистора $Q1$. Для проверки работы усилителя необходимо собрать соответствующую схему, показанную на рис. 7.

На рис. 7 конденсаторы $C2$ и $C1$ являются разделительными, так как блокируют прохождение постоянного напряжения, задающего рабочий режим транзистора. Они обеспечивают изоляцию (разделение) источника сигнала и нагрузки от каскада по постоянному току и соединение (связь) их по переменной составляющей между собой. Кроме перечисленных элементов принципиальной схемы, при усилении синусоидального сигнала от источника V_{in} необходим источник постоянного напряжения V_{ss} , вырабатывающий 10 В, и нагрузочный резистор RL .

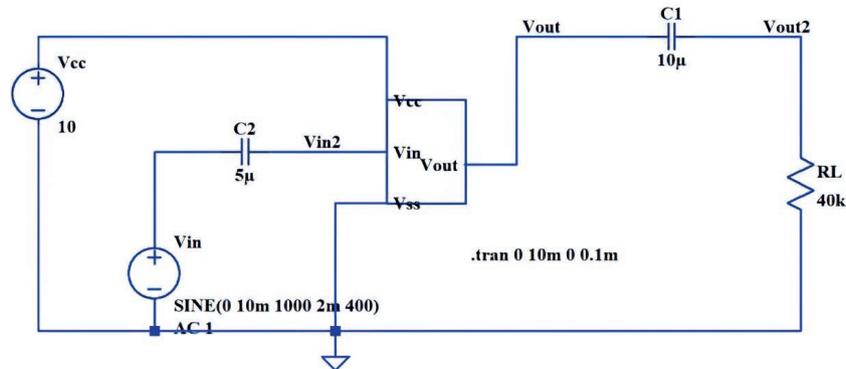


Рис. 7. Схема проверки работы усилителя с общей базой
Fig. 7. Circuit for testing the operation of an amplifier with a common base

На рис. 8 показаны осциллограммы входного и выходного сигналов усилителя с ОБ. Приведенный результат моделирования показывает отсутствие как нелинейных искажений в усиленном сигнале при коэффициенте усиления порядка 50, так и инверсии фазы сигнала при его усилении, в отличие от схемы с ОЭ.

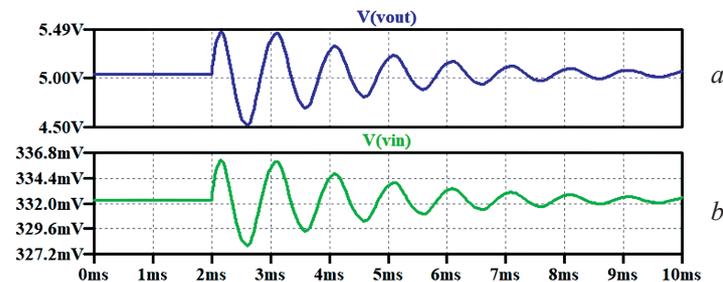


Рис. 8. Осциллограммы входного (a) и выходного (b) сигналов усилителя с общей базой
Fig. 8. Oscillograms of the input (a) and output (b) signals of an amplifier with a common base

Для получения амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик усилителя с ОБ необходимо провести частотный анализ .AC. Схема, изображенная на рис. 9, позволяет это сделать, перейдя от анализа .TRAN к .AC, задав при этом вид шкалы изменения частоты (декадно), число точек на декаду и необходимый диапазон частот.

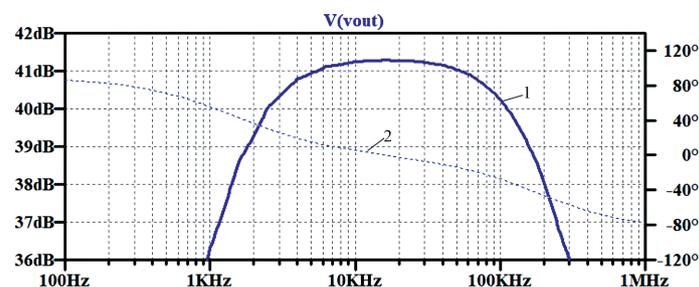


Рис. 9. Амплитудно-частотная (1) и фазочастотная (2) характеристики усилителя с общей базой
Fig. 9. Oscillograms of the input (1) and output (2) signals of an amplifier with a common base

Диапазон рабочих частот усилителя по схеме с ОБ – от 200 Гц до 9 МГц, что сравнимо с частотным диапазоном усилителя, собранного по схеме с ОЭ при включении конденсатора C1 параллельно резистору R4. При этом коэффициент усиления составлял величину порядка 44 дБ в обоих случаях.

Третья работа – изучение принципов работы и характеристик инвертирующего усилителя на операционном усилителе (ОУ). Эта работа, как первая и вторая, может выполняться в LTspice или любой другой spice-совместимой программе. Проводятся такие же виды анализа, как для первой и второй лабораторных работ.

Номенклатура микросхем ОУ очень большая – от прецизионных, позволяющих создавать высокоточные преобразователи сигналов, до быстродействующих, применяемых в высокоскоростных преобразователях данных. Каждое применение требует своей схемы включения ОУ. Поэтому проанализируем простейшую схему усилителя на ОУ. У любого ОУ всегда имеются два входа, поскольку входным каскадом является дифференциальный, который способен усиливать разницу напряжений на входах с очень высоким коэффициентом усиления, значительно превышающим усиление обычного каскада усилителя с ОЭ. При этом каждое «плечо» дифференциального каскада построено аналогично усилителю с ОЭ, но они взаимодействуют друг с другом, поскольку питаются от одного ограниченного и стабилизированного источника тока. При открытии любого из транзисторов выходное напряжение, определяемое падением напряжения в нагрузочных резисторах, будет как минимум в два раза превышать выходной сигнал обычного каскада с ОЭ. Теоретический анализ работы дифференциального каскада изложен в [5]. Схема инвертирующего усилителя на ОУ показана на рис. 10.

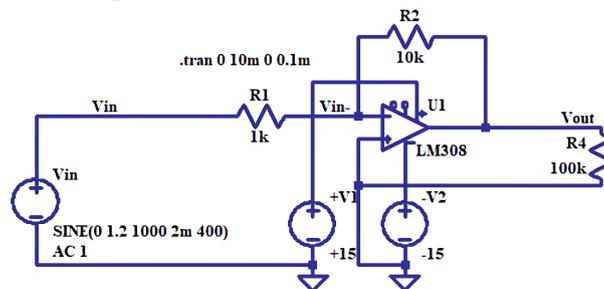


Рис. 10. Схема анализа работы инвертирующего усилителя на операционном усилителе
Fig. 10. Diagram for analyzing the operation of an inverting amplifier using an operational amplifier

На рис. 10 резисторы $R1$ и $R2$ задают коэффициент усиления, а $R4$ является нагрузкой усилителя. Источники $+V1$ и $-V2$ подают питание, необходимое для работы усилителя. Vin – источник входного синусоидального сигнала с теми же параметрами, что и при проверке работы усилителей на ОЭ и ОБ. Осциллограммы входного и выходного сигналов инвертирующего усилителя на ОУ приведены на рис. 11.

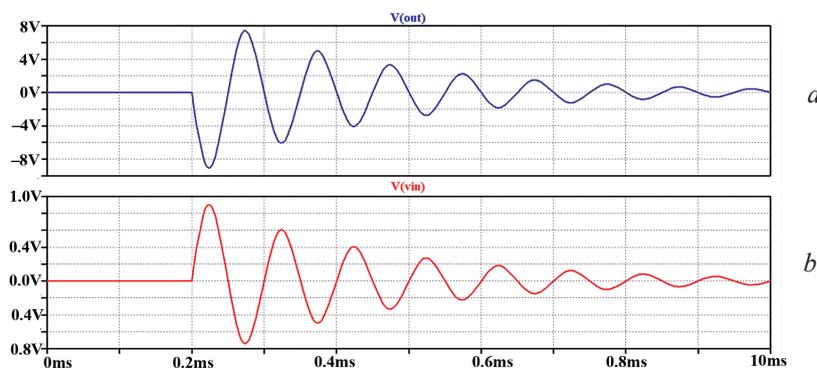


Рис. 11. Осциллограммы входного (a) и выходного (b) сигналов инвертирующего усилителя на операционном усилителе

Fig. 11. Oscillograms of the input (a) and output (b) signals of the inverting amplifier on the operational amplifier

Провели анализ схемы, изображенной на рис. 10, и определили декадное изменение частоты, количество точек на декаду и диапазон частот. Результат этого анализа с амплитудно-частотной и фазочастотной характеристиками инвертирующего усилителя на ОУ приведен на рис. 12. Полоса пропускания усилителя составила 1,2 МГц, а запас по фазе – более 60 град., что достаточно для устойчивого функционирования при работе с сигналами большой амплитуды. Для получения статических передаточных характеристик тока и напряжения необходим анализ по постоянному току **.DC**. Для этого следует задать линейное изменение входного сигнала от генератора Vin от (-5) до $(+5)$ В с приращением в 0,1 В (рис. 13).

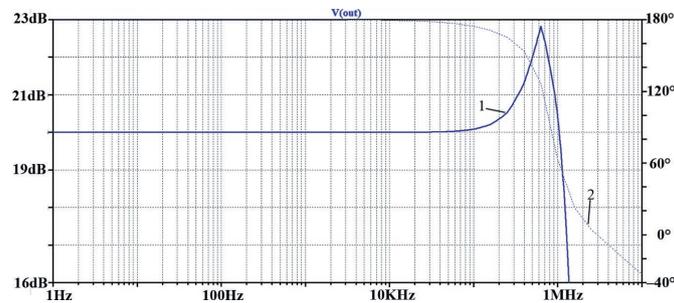


Рис. 12. Амплитудно-частотная (1) и фазочастотная (2) характеристики инвертирующего усилителя на операционном усилителе

Fig. 12. Amplitude-frequency (1) and phase-frequency (2) characteristics of an inverting amplifier based on an operational amplifier

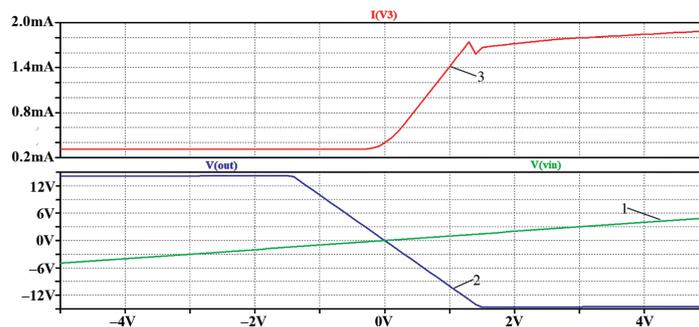


Рис. 13. Статические передаточные характеристики напряжения (1, 2) и тока (3) инвертирующего усилителя на операционном усилителе

Fig. 13. Static transfer characteristics of voltage (1, 2) and current (3) of the inverting amplifier on the operational amplifier

Приведенные примеры выполнения лабораторных работ достаточно просты, но эти задачи следует решать на начальном этапе изучения схемотехники при подготовке инженерных кадров по данным направлениям. Именно такие работы выполняют студенты при изучении дисциплин «Схемотехника телекоммуникационных устройств» [6], «Микросхемотехника» и «Схемотехника».

Изучение усилительных устройств и других схем обработки аналоговых сигналов (фильтров, компараторов и др.) обычно предшествует изучению цифровой схемотехники, которую начинают с изучения простейших логических элементов типа И, ИЛИ, НЕ. Причем элементы строятся как на биполярных, так и обязательно на КМОП-транзисторах с проектными нормами в единицы микрон. Затем приступают к изучению работы схем сумматоров, декодеров, кодеров, мультиплексоров и демультиплексоров. После них следуют триггеры и устройства на их основе – регистры и счетчики. При этом каждый обучаемый создает собственную библиотеку аналоговых и цифровых элементов. Но собственная библиотека элементов на КМОП-транзисторах может быть использована в дальнейшем при моделировании работы сложных функциональных узлов, необходимых для построения специализированных микросхем, предназначенных для работы в микроэлектронной аппаратуре самого различного применения – от бытовой техники до систем вооружений.

Заключение

Успешная подготовка инженерных кадров по направлениям «Электроника и нанoeлектроника» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» возможна при комплексном подходе к изучению дисциплин, связанных со схемотехникой и с анализом работоспособности электронных устройств. При этом до начала экспериментов по исследованию работы электронных схем должно быть проведено схемотехническое моделирование их работы в любой spice-совместимой программе. Тогда полученные результаты позволят проводить экспериментальные работы с большим пониманием их сути. Кроме того, это поможет сохранить в рабочем состоя-

нии измерительные приборы и саму электронно-компонентную базу, уберегая их от неизбежных ошибок начинающих экспериментаторов.

Список литературы

1. Макаревич, А. Л. Изучение схемотехники и практические навыки работы в системах проектирования в образовательном процессе в направлениях «Электроника и нанoeлектроника» и «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» / А. Л. Макаревич // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2016. № 1. С. 4–9.
2. Макаревич, А. Л. Трансформация образовательного процесса подготовки инженерных кадров в условиях смены технологической парадигмы / А. Л. Макаревич, Л. И. Матына, И. В. Петренко // Методические вопросы преподавания инфокоммуникаций в высшей школе. 2020. № 4. С. 25–30.
3. Хороваиц, П. Искусство схемотехники / П. Хороваиц, У. Хилл. М.: Мир, 1986.
4. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника / У. Титце, К. Шенк. М.: Додэка XXI, 2008.
5. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники / И. П. Степаненко. М.: Сов. Радио, 1980.
6. Макаревич, А. Л. Лабораторный практикум «Схемотехника телекоммуникационных устройств» / А. Л. Макаревич, С. М. Соковнич, В. М. Бочарова. Тирасполь: Приднестр. гос. ун-т им. Т. Г. Шевченко, 2024.

References

1. Makarevich A. L. (2016) Studying Circuit Design and Practical Skills in Working in Design Systems in the Educational Process in the Areas of “Electronics and Nanoelectronics” and “Infocommunication Technologies and Communication Systems”. *Methodological Issues in Teaching Infocommunications in Higher Education*. (1), 4–9 (in Russian).
2. Makarevich A. L., Matyna L. I., Petrenko I. V. (2016) Transformation of the Educational Process of Training Engineering Personnel in the Context of a Change in the Technological Paradigm. *Methodological Issues in Teaching Infocommunications in Higher Education*. (4), 25–30 (in Russian).
3. Horowitz P., Hill W. (1989) *The Art of Electronics*. Moscow, Mir Publ. (in Russian).
4. Tietze U., Schenk Ch. (2002) *Semiconductor Circuitry*. Moscow, Dodeka Publ. (in Russian).
5. Stepanenko I. P. (1980) *Fundamentals of Microelectronics*. Moscow, Sovetskoe Radio Publ. (in Russian).
6. Makarevich A. L., Sokovnich S. M., Bocharova V. M. (2024) *Laboratory Workshop “Circuit design of Telecommunication Devices”*. Tiraspol, Shevchenko Pridnestrovie State University (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Макаревич А. Л., канд. техн. наук, доц. каф. фундаментальной физики, электроники и систем связи, Приднестровский государственный университет имени Т. Г. Шевченко

Матына Л. И., канд. техн. наук, доц., Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»

Соковнич С. М., канд. физ.-мат. наук, доц. каф. фундаментальной физики, электроники и систем связи, Приднестровский государственный университет имени Т. Г. Шевченко

Адрес для корреспонденции

3200-MD, Молдова,
Бендеры, ул. Рыбницкая, 2–2
Приднестровский государственный
университет имени Т. Г. Шевченко
Тел.: +373 77 72-21-87
E-mail: mccar-bendery@mail.ru
Макаревич Александр Леонидович

Information about the authors

Makarevich A. L., Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems, Pridnestrovian State University named after T. G. Shevchenko

Matyna L. I., Cand. of Sci., Associate Professor, National Research University of Electronic Technology

Sokovnich S. M., Cand. of Sci., Associate Professor at the Department of Fundamental Physics, Electronics and Communication Systems, Pridnestrovian State University named after T. G. Shevchenko

Address for correspondence

3200-MD, Moldova,
Bender, Rybnyskay St., 2–2
Pridnestrovian State University
named after T. G. Shevchenko
Tel.: +373 77 72-21-87
E-mail: mccar-bendery@mail.ru
Makarevich Alexander Leonidovich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-67-76>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 681.3.06

МЕТОДЫ КВАНТОВОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ: ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ ОНТОЛОГИИ И ФОРМАЛИЗАЦИИ СОВРЕМЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПАРАДИГМЫ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

А. А. КРЮЧКОВ, М. А. КНЯЗЕВ

МИРЭА – Российский технологический университет (г. Москва, Российская Федерация)

Поступила в редакцию 21.03.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. В статье подтвержден возрастающий уровень вовлеченности международного сообщества в процесс развития квантовых технологий. В научном пространстве в отечественном сегменте авторами выявлено значительное отставание между уровнем и качеством существующих образовательных программ высших учебных заведений по отношению к международным достижениям практического характера в области разработки и программирования квантовых вычислительных устройств. В целях устранения сложившегося научно-методического разрыва рекомендуется внедрить в образовательные программы укрупненных групп направлений подготовки 09.00.00 и 10.00.00 соответствующие предметы в качестве отдельных дисциплин, либо в уже существующие [дисциплины], и расширить их до исследования возможностей методов квантового программирования. На основе собственного опыта преподавательской деятельности авторы предлагают возможную стратегию внесения соответствующих изменений, а также варианты корректировки рабочих программ дисциплин, включающих в себя задачи по программированию квантовых вычислительных устройств.

Ключевые слова: методы квантового программирования, технологии программирования, квантовые технологии, квантовые вычисления.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность. Авторы выражают искреннюю благодарность наставнику и проводнику в мир квантовых технологий канд. техн. наук А. В. Королькову за критический подход и оперативную вовлеченность в процесс редактирования полученных результатов исследования.

Для цитирования. Крючков, А. А. Методы квантового программирования: подходы к формированию онтологии и формализации современной вычислительной парадигмы в образовательном процессе / А. А. Крючков, М. А. Князев // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 67–76. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-67-76>.

QUANTUM PROGRAMMING METHODS: APPROACHES TO THE FORMATION OF ONTOLOGY AND FORMALIZATION OF THE MODERN COMPUTING PARADIGM IN THE EDUCATIONAL PROCESS

ANDREY A. KRYUCHKOV, MAXIM A. KNYAZEV

MIREA – Russian Technological University (Moscow, Russian Federation)

Submitted 21.03.2024

Abstract. The article confirms the increasing level of involvement of the international community in the development of quantum technologies. In the scientific space in the domestic segment, the authors have identified a significant lag between the level and quality of existing educational programs of higher educational institutions

in relation to international practical achievements in the field of development and programming of quantum computing devices. In order to eliminate the existing scientific and methodological gap, it is recommended to introduce relevant subjects into the educational programs of enlarged groups of training areas 09.00.00 and 10.00.00 as separate disciplines, or into already existing [disciplines], and expand them to study the possibilities of quantum programming methods. Based on their own teaching experience, the authors propose a possible strategy for making appropriate changes, as well as options for adjusting the work programs of disciplines that include tasks for programming quantum computing devices.

Keywords: quantum programming methods, programming technologies, quantum technologies, quantum computing.

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

Gratitude. The authors express their sincere gratitude to the mentor and guide to the world of quantum technologies, Cand. of Sci. A. V. Korolkov, for the critical attitude and efficient involvement in the process of editing the obtained research results.

For citation. Kryuchkov A. A., Knyazev M. A. (2024) Quantum Programming Methods: Approaches to the Formation of Ontology and Formalization of the Modern Computing Paradigm in the Educational Process. *Digital Transformation*. 30 (2), 67–76. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-67-76> (in Russian).

Введение

В настоящее время предметная область научно-практических исследований в сфере квантовых технологий и квантовых вычислений в частности с каждым годом привлекает все большее количество профильных специалистов как из числа представителей научного сообщества, так и среди сотрудников государственных структур и коммерческих объединений. В то время как государственные органы регулирования в условиях цифровизации экономики принимают активное участие в разработке и принятии нормативно-правовых документов и национальных программ по развитию предметной области, образовательные учреждения только приступают к внедрению профильных дисциплин по направлениям подготовки инженерных кадров по программе квантовых вычислений.

Представленные в статье результаты исследования могут быть полезными для профессорско-преподавательского состава учебных заведений, проводящих подготовку специалистов по направлениям, входящим в перечень укрупненных групп специальностей 09.00.00 «Информатика и вычислительная техника» и 10.00.00 «Информационная безопасность». Цель – систематизация накопленных знаний и формальное определение научно-практического образовательного направления «Методы квантового программирования».

Государственные программы и национальные проекты как катализатор развития предметной области

Актуальность исследования подтверждается уровнем международных инвестиций, вкладываемых в квантовые технологии, а также количеством нормативных документов, принимаемых государственными инстанциями различных стран. С каждым годом наблюдается рост числа мировых держав, осознающих неизбежность прихода на международный рынок новых технологичных отраслей экономики и принимающих превентивные меры по регулированию, централизованному управлению и развитию соответствующих областей.

В 2018 г. Конгресс США опубликовал акт H.R.6227 Национальной квантовой инициативы с планом развития квантовых технологий в стране. Через четыре года были представлены закон H.R.7535 об обеспечении готовности государственных учреждений к возможным последствиям появления квантовых вычислительных устройств, представляющих потенциальную угрозу имеющимся системам обеспечения кибербезопасности, а также Меморандум NSM-10 о национальной безопасности и продвижении лидерства США в области квантовых вычислений.

Один из ключевых лидеров Азиатского региона Китайская Народная Республика в 2021 г. включила в 14-й Национальный экономический план развития исследования в области квантовых технологий как одно из передовых направлений, подлежащих приоритетному развитию на период вплоть до 2035 г. В марте 2023-го Великобритания опубликовала Национальную квантовую стратегию со сроком выполнения десять лет, направленную на превращение Объединенного Ко-

ролевства в научно-техническую сверхдержаву, с учетом последовательного развития и своевременного внедрения в практическую плоскость технологии квантовых вычислений.

В Российской Федерации в 2019 г. была утверждена дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «Квантовые технологии», предполагающая развитие квантовых вычислений, квантовой криптографии и сенсорных технологий. Исполнение дорожной карты было установлено в пятилетний срок, однако в рамках актуализации полученных результатов в 2023 г. работа программы была дополнена новыми мероприятиями и продлена до 2030-го.

К числу стран, с недавнего времени уделяющих пристальное внимание квантовым технологиям на государственном уровне, присоединились Дания, Ирландия, Бразилия, Венгрия, Индия, Австралия, Канада, Южно-Африканская Республика и ряд других экономически развитых государств с устоявшимся научно-техническим потенциалом¹. Одним из наиболее значительных событий, подтверждающих актуальность поставленной темы, является публикация в январе 2024 г. квантовой стратегии НАТО, цель которой – обеспечение «квантовой готовности» Североатлантического союза к внешним угрозам.

Механизмы системы образования в области подготовки специалистов в сфере квантовых технологий

Выделяются три направления квантовых технологий:

- квантовые коммуникации;
- квантовые вычисления;
- квантовые сенсоры и метрология.

Квантовые коммуникации подразумевают под собой технологию криптографической защиты, использующей индивидуальные квантовые частицы для распределения общего секрета (ключа). Квантовые вычисления – класс вычислительных устройств, использующих для решения задач принципы квантовой механики. Квантовые сенсоры и метрология – совокупность высокоточных измерительных приборов, основанных на квантовых эффектах. Направление квантовых сенсоров и метрологии присутствует в исследовательских институтах и промышленных лабораториях с середины прошлого века. Данная область является фундаментом двух смежных дисциплин – квантовой криптографии и квантовых вычислений. По всему миру функционируют учреждения высшего образования, выполняющие подготовку кадров в области технологии материалов, нанотехнологий и прикладной физики. Механизм обучения и последующего включения молодых ученых в трудовую деятельность отлажен и стабильно удовлетворяет спрос на квалифицированных специалистов.

Идея квантовых коммуникаций впервые была опубликована в 1983 г. и сегодня имеет высокий уровень всесторонней проработки. За последние 40 лет область квантовой криптографии вышла на уровень промышленного производства коммерческих систем по обеспечению процесса выработки и распределения ключей. Как в зарубежных, так и в отечественных университетах имеются соответствующие программы подготовки студентов (например, 10.05.01), проводятся ежегодные форумы и конференции, внедряются дополнительные образовательные направления для юных инженеров совместно с курсами повышения квалификации для действующих профильных специалистов. Однако совершенно иначе дело обстоит с подготовкой ученых и разработчиков в сфере квантовых вычислений. Несмотря на актуальность вопроса, уровень внедрения тематических образовательных программ в вузах страны, а также работа по повышению информационной осведомленности среди технических специалистов и рядовых пользователей ИТ-инфраструктуры оставляет желать лучшего. Квантовые вычисления зачастую преподаются в одном из трех вариантов повествования: поверхностное освещение ключевых положений и возможностей квантовых компьютеров в научно-популярном стиле изложения; лекции по линейной алгебре, теории множеств и комплексный анализ как основа квантовых вычислений; прикладная физика и материаловедение с точки зрения вопроса создания квантовых процессоров.

Однозначно каждый озвученный подход важен, однако нередко ни один из указанных выше форматов обучения не подразумевает подготовку инженерных кадров в области программирования квантовых компьютеров, что подтверждается практически полным отсутствием тематичес-

¹ *Quantum Economy Blueprint*. Available: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Quantum_Economy_Blueprint_2024.pdf (Accessed 10 February 2024).

кой технической литературы в русскоязычном сегменте, за исключением переводов иностранных книг и редких монографий, подготовленных самостоятельными усилиями молодых ученых. Таким образом, несмотря на синхронное развитие теории квантовых вычислений и квантовой криптографии (первые работы о квантовых компьютерах появились в 1980-х гг.), практическая область квантовых вычислений и смежные технологические подразделения естественной науки значительно отстают от сформулированной за последние десятилетия теории, что имеет разительное отличие в сравнении с аналогичным течением развития квантовых коммуникаций. Более того, в случае сопоставления Россия – мир становится очевидно, что локальные успехи соотечественников еще сильнее отстают от результатов иностранных научных объединений, что также отмечается в дорожной карте развития квантовых технологий в Российской Федерации.

В то же время в числе этапов и мероприятий по решению технологических задач дорожная карта предполагает реализацию новых образовательных программ в профильных университетах, организацию спецкурсов и центров дополнительного образования (рис. 1). Однако, если поиск специалистов и открытие базовых кафедр, занимающихся исключительно подготовкой инженеров в сфере квантовых технологий, являются трудозатратными, редкими и узкопрофильными инструментами решения поставленной задачи, то целенаправленная корректировка учебных планов и рабочих программ некоторых дисциплин способна решить вопрос с широким охватом большинства программ подготовок. А это предполагает выпуск большего числа студентов, владеющих навыками программирования квантовых компьютеров.

<p>Кадровые (подробнее см. Табл 5)</p>	<p>Реализация новых образовательных программ, прежде всего, в профильных университетах, работа с талантливыми школьниками и кружковым движением</p> <p>Программы для возвращения из-за рубежа талантливых специалистов (пример, программа «1000 талантов» в Китае)</p>	<p>Реализованы образовательные программы, в тч международное сотрудничество</p> <p>Реализована программа по работе с диаспорой</p>	<p>2019–2024</p>	<p>Описание проекта</p> <p>Организация профильных спецкурсов в рамках программы школьного образования, кафедр квантовых технологий на базе вузов а также центров дополнительного образования</p> <p>Формирование стандартов и верифицированных методик для образовательных курсов в школах, колледжах, ВУЗах</p>
---	--	--	------------------	---

Рис. 1. Этапы и мероприятия реализации дорожной карты
(Источник <https://digital.gov.ru/ru/documents/6650/>)

Fig. 1. Stages and activities of the roadmap implementation (Source <https://digital.gov.ru/ru/documents/6650/>)

Существует острая необходимость во включении направления «Методы квантового программирования» в существующие программы обучения технических специалистов либо в формате самостоятельной дисциплины, либо в качестве отдельного глобального тематического блока в рамках одного из предметов – «Технологии и методы программирования» (ТМП) или «Методы программирования» (МП). Для этого нужно определить место квантового программирования по отношению к двум рассматриваемым предметам (рис. 2).



Рис. 2. Определение взаимосвязи предметов
Fig. 2. Determining the relationship of subjects

Рабочие программы дисциплин

В первую очередь следует определить соотношение предметов «Технологии и методы программирования» и «Методы программирования». Для этого необходимо дать определение каждому направлению подготовки студентов.

Технологии программирования – изучение производственных процессов, приводящих к созданию программного обеспечения [1].

Методы (от греч. *methodos* – путь исследования или познания) – совокупность относительно однородных приемов, операций практического или теоретического освоения действительности, подчиненных решению конкретной задачи [2].

Строгое определение термина «методы программирования» в научно-технической литературе отсутствует. За годы развития системы образования и в свете периодической смены образовательных стандартов сегодня дисциплина «Методы программирования» в подавляющем большинстве своих вариаций, за незначительными исключениями, охватывает изучение способов представления данных и элементы теории алгоритмов. После многочисленных дискуссий с учеными и практикующими программистами, а также с молчаливого согласия коллег авторы берут на себя ответственность и предлагают следующую формулировку.

Методы программирования – совокупность теоретико-практических способов представления данных в компьютерных программах, набор принципов построения и реализации алгоритмов работы со структурами данных с последующей оценкой сложности рассматриваемых алгоритмов.

Рассмотрим взаимосвязи между рабочими программами дисциплин (РПД) «Методы программирования» и «Технологии и методы программирования», представленные в табл. 1². Авторы являются сотрудниками базовой кафедры РТУ МИРЭА, реализующей подготовку студентов по направлению 10.05.01 «Компьютерная безопасность», поэтому дисциплина «Методы программирования» хорошо им известна. Цели и задачи стороннего направления были уточнены у коллег других структурных подразделений вуза, а также взяты из рабочих программ, опубликованных за последние четыре года российскими университетами.

Таблица 1. Содержание рабочих программ дисциплин
Table 1. The discipline's work programs

Содержание программы / Contents of program	Метод программирования / Programming method	Технология и метод программирования / Programming technology and method
Цель	Изучение основных алгоритмов работы с дискретными объектами, структурами данных и методами их исследования	Изучение порядков проектирования и эксплуатации ПО, получение навыков разработки алгоритмического ПО
Задачи	Изучение информационных структур, разработки алгоритмов, рекурсивных методов и алгоритмов	Изучение (+) методологии разработки ПО, оценки качества ПО, разработки приложений, тестирования ПО
Результат	Владеть технологиями структурного программирования при создании программ обработки сложных структур данных	Владеть навыками подбора алгоритмов и разработки программ для решения практических задач, навыками проектирования, разработки, отладки, тестирования, документирования ПО
Необходимо знать	Математическая логика и теория алгоритмов, дискретная математика, основы информатики, языки программирования	(+) основы проектирования ПО, операционные системы
Необходимо для следующего изучения	Компьютерная графика, компьютерное моделирование, базы данных, основы распределенных вычислений	(+) программно-аппаратные СЗИ, разрушающие программные воздействия, разработка веб-приложений, тестирование ПО
Краткий план программы	Принципы разработки ПО, ООП; структурное программирование; типы данных, структуры; алгоритмы сортировок, поиска; комбинаторные алгоритмы; задачи на графах; оценка сложности; ГСЧ; паттерны проектирования	Жизненный цикл, требования, спецификации, проектирование ПО; стандарты, этапы, методология, принципы разработки ПО; организация коллективов; методы отладки и тестирования ПО; структурное программирование; понятие алгоритма и модели вычислений
Техническое обеспечение	Вычислительные устройства с ОС, средства разработки компьютерных программ и приложений (MSVS, IDEA...)	
<p><i>Обозначения:</i> ПО – программное обеспечение; (+) – включение в РПД по ТМП перечислений из соответствующего пункта РПД МП; СЗИ – средства защиты информации; ООП – объектно-ориентированное программирование; ГСЧ – генератор случайных чисел; ОС – операционная система.</p>		

² Табл. 1 – усредненное обобщение ключевых положений РПД соответствующих дисциплин. (На бакалавриате и специалитете количество часов (следовательно, сама программа) может варьироваться от 4 до 7 зачетных единиц; в вузах, расположенных рядом с предприятиями конкретной отрасли, делается упор на программирование на требуемых высокоуровневых языках программирования, программа курса имеет направленность на подготовку специалистов в интересах потенциальных заказчиков, что жестко задается в РПД; и т. д.)

Таким образом, по сравнительному сопоставлению из табл. 1 следует закономерный вывод – дисциплина «Технологии и методы программирования» является более обширной научной областью, имеет всесторонний охват и полностью включает в себя направление «Методы программирования». Следующий шаг – определение места направления «Методы квантового программирования» в совокупности представленных программ подготовки инженерных кадров.

Методы квантового программирования

Отталкиваясь от собственного опыта преподавательской деятельности в исследуемой области, авторы предлагают определение методов квантового программирования, как междисциплинарной совокупности физико-математических приемов построения квантовых вычислительных устройств, теоретико-практических способов реализации квантовых алгоритмов с последующей оценкой сложности рассматриваемых квантовых алгоритмов. Представленная формулировка служит наглядной демонстрацией отличия методов квантового программирования от методов классического программирования и является фундаментом построения и создания соответствующих образовательных программ системы высшего образования. Если говорить о «Методах квантового программирования» как о самостоятельной дисциплине, изолированной от других образовательных программ, то в первом приближении видится необходимость освещения двух фундаментальных блоков, представленных на рис. 3.



Рис. 3. Необходимый и достаточный набор знаний дисциплины «Методы квантового программирования»

Fig. 3. A necessary and sufficient set of knowledge of the discipline “Quantum programming methods”

В тематических блоках рис. 3 выделены области, пересекающиеся по сути содержания с изучаемыми разделами на предметах по классическим методам программирования. Это подразумевает зависимость дисциплин между собой, которая изображена на рис. 4.

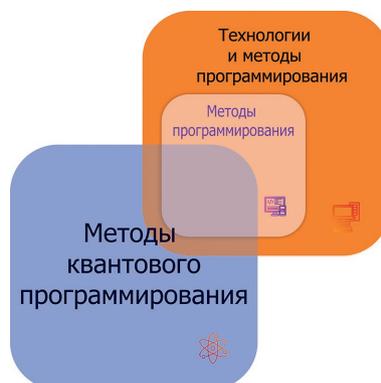


Рис. 4. Взаимосвязь предметов методов квантового и классического программирования
Fig. 4. The relationship between the subjects of quantum and classical programming methods

Учитывая большое количество тематических пересечений, на первых этапах трансформации образовательных программ предлагается внедрение некоторых теоретико-практических знаний области квантового программирования в имеющиеся РПД двух рассматриваемых предметов с внесением корректировок, приведенных в табл. 2.

Таблица 2. Содержание рабочих программ дисциплин с учетом предлагаемых изменений
Table 2. The discipline's work programs with the proposed changes

Содержание программы / Contents of program	Метод программирования / Programming method	Технология и метод программирования / Programming technology and method
Цель	Изучение основных алгоритмов работы с дискретными объектами, структурами данных и методами их исследования, зависимости, отличий и ситуаций применения классических и квантовых компьютеров. Получение навыков разработки алгоритмического ПО с учетом возможностей квантовых компьютеров	Изучение порядков проектирования и эксплуатации ПО, <u>принципов построения и методов применения квантовых вычислительных устройств.</u> Получение навыков программирования квантовых компьютеров, разработки алгоритмического ПО
Задачи	Изучение информационных структур, разработки алгоритмов, рекурсивных методов и алгоритмов, «квантовых» алгоритмов, хранения и обработки информации в квантовых компьютерах	Изучение (+) методологии разработки ПО, оценки качества ПО, разработки приложений, тестирования ПО, библиотеки и IDE квантового программирования
Результат	Владеть технологиями структурного программирования при создании программ обработки сложных структур данных <u>на классических и квантовых вычислительных устройствах</u>	Владеть навыками подбора алгоритмов и разработки программ для решения практических задач с помощью классических и квантовых вычислительных устройств, навыками проектирования, разработки, отладки, тестирования, документирования ПО
Необходимо знать	Математическая логика и теория алгоритмов, дискретная математика, основы информатики, языки программирования, <u>теория функций комплексной переменной, алгебра, теория вероятностей и математическая статистика</u>	(+) основы проектирования ПО, операционные системы, <u>аппаратные средства вычислительной техники</u>
Необходимо для последующего изучения	Компьютерная графика, компьютерное моделирование, базы данных, основы распределенных вычислений, <u>криптография, криптографические методы защиты информации, машинное обучение</u>	(+) программно-аппаратные СЗИ, разрушающие программные воздействия, разработка веб-приложений, тестирование ПО
Краткий план программы	Принципы разработки ПО, ООП; структурное программирование; типы данных, структуры; алгоритмы сортировок, поиска; комбинаторные алгоритмы; задачи на графах; оценка сложности; ГСЧ; паттерны проектирования	Жизненный цикл, требования, спецификации, проектирование ПО; стандарты, этапы, методология, принципы разработки ПО; организация коллективов; методы отладки и тестирования ПО; структурное и алгоритмическое программирование; понятие алгоритма и модели вычислений; <u>внутреннее устройство квантовых компьютеров</u>
	<u>Введение в область квантовых вычислений; математический аппарат квантовых вычислений; анализ основ и ситуаций применения классических и квантовых компьютеров; средства разработки квантового ПО; методы квантового программирования; возможности и ограничения квантовых вычислений</u>	
Техническое обеспечение	Вычислительные устройства с ОС; средства разработки компьютерных программ и приложений (MSVS, IDEA...) <u>Выход в интернет для доступа к облачным квантовым компьютерам и/или многокубитным квантовым симуляторам.</u> <u>Предустановленные квантовые малоразрядные симуляторы на стационарных компьютерах (Cirq, Qiskit...)</u>	

Обозначения – Те же, что в табл. 1.

Однако для более органичного и, с точки зрения студента, постепенного погружения в предметную область необходимо в полной мере задействовать междисциплинарность образовательных программ с незначительной корректировкой РПД смежных предметов (рис. 5). Непосредственный переход к изучению методов программирования квантовых компьютеров в наиболее благоприятном сценарии предполагает наличие у обучающихся серьезной предварительной подготовки по разноплановым техническим дисциплинам. Важно – во избежание дальнейших затруднений у студентов в понимании концепции квантовых компьютеров в целях недопущения заостренности восприятия нестандартной парадигмы вычислений есть смысл в проведении строгого разделения между классическими и квантовыми устройствами уже с ранних этапов обучения.

В рамках курсов по информатике, языкам программирования и операционным системам (рис. 5) возникают наиболее подходящие условия для освещения вопросов понимания квантовых вычислительных устройств, начиная с самых основ. К примеру – с анализа классической и вероятностной машины Тьюринга с точки зрения применимости данных условных абстракций к квантовым компьютерам.



Рис. 5. Место дисциплины «Методы квантового программирования» в образовательном процессе
Fig. 5. The place of the discipline “Quantum programming methods” in the educational process

При изучении аппаратных средств вычислительной техники (АСВТ) будут уместными рассмотрение способов построения квантовых устройств, механизмов расположения физических кубитов на квантовом процессоре и анализ технологических подходов к созданию квантовых установок (на фотонах, ионные ловушки, сверхпроводники и др.). В обязательном порядке следует выполнить разбор критериев Ди Винченцо к требованиям по созданию квантовых компьютеров. Также в программе АСВТ, либо уже при изучении схемотехники, необходимо провести классификацию по формированию представления о том, к числу каких устройств можно относить квантовый компьютер – будь то цифровая, аналоговая техника, либо же аналоговый вычислитель.

В процессе четвертого семестра математического анализа («Теория функций комплексной переменной», ТФКП) и, возможно, в рамках базового курса физики необходимо и достаточно реализовать небольшое поверхностное освещение вопросов квантовых вычислений, чтобы у студентов изначально формировалось серьезное отношение к нередко «проходным» (по их мнению) предметам, а также уже на ранних стадиях зарождался интерес к исследуемой перспективной научно-практической области. Теория вероятностей и математическая статистика, а также алгебра, выступают одними из ключевых математических инструментов квантовых вычислений, вместе с ТФКП формируя фундамент моделирования, проверки и анализа получаемых результатов.

Непосредственно само программирование квантовых вычислительных устройств может проходить на практических и лабораторных занятиях по технологиям и методам программирования. Дальнейшее развитие полученных навыков находит свое применение в дисциплине (и схожих с ней) «Криптографические методы защиты информации». Это связано с тем, что некоторый набор алгоритмов квантового программирования предполагает непосредственное влияние на развитие данной области знаний, что будущие специалисты по защите информации в обязательном порядке должны брать во внимание. Весь объем полученных за продолжительный период обучения знаний будет закрепляться итоговой научно-исследовательской работой на старших курсах обучения.

Стратегия постепенного внедрения направления подготовки «Методы квантового программирования» в образовательный процесс

Стратегия внедрения и последующего развития направления подготовки «Методы квантового программирования» в структуру программ 09.00.00 и 10.00.00 может быть успешно выполнена в три этапа.

Этап 1. Внедрение. Включение основных научных концепций и практических инструментов квантовых вычислений в существующие направления подготовки, как было продемонстрировано на примере корректировки с учетом заявленных целей и потребностей рабочих программ дисциплин МП и ТМП.

Этап 2. Закрепление. Создание цепной реакции междисциплинарности и поддержание актуальных сведений по квантовому программированию на всей дистанции обучения путем расширения научного знания предметной области с охватом смежных дисциплин. (Добавление те-

матического блока «Физика и техническое исполнение квантовых процессоров» в дисциплину «Аппаратные средства вычислительных технологий»; добавление теоретических положений о машине Тьюринга с учетом опыта квантовых компьютеров в курсы по информатике, языкам программирования и т. д.)

Этап 3. Развитие. Проведение прикладных НИР, грантов, исследовательских и практических работ студентами и сотрудниками кафедр; организация конференций и симпозиумов; мероприятия, направленные на развитие отрасли. Выделение квантового программирования в отдельную дисциплину, находящуюся в непосредственной взаимосвязи с другими образовательными программами (опционально).

Аргументация в пользу внедрения предлагаемого подхода

Нередко звучал резонный вопрос, есть ли смысл и необходимость в введении предмета «Методы квантового программирования» в образовательную программу по двум укрупненным группам направлений подготовки. Наш ответ – да. По нескольким причинам.

Во-первых, международное сообщество в настоящий момент находится на переломном этапе научно-технического развития, когда происходит реформатирование экономических устоев и связей, направленных на стимулирование развития в предстоящие несколько десятилетий новых инновационных технологий, к числу которых относятся геномная инженерия, машинное обучение, квантовые коммуникации и вычисления. Нет определенности, через какой промежуток времени будет построен прикладной квантовый компьютер и появится ли он в принципе. Однако, имея в свободном доступе ряд технологий с неоспоримым потенциалом и предпосылками к дальнейшему становлению в качестве самостоятельной отрасли, не воспользоваться ими – весьма недуманный и стратегически неверный шаг, противоречащий этике научно-исследовательского подхода.

Во-вторых, внедрение в программу обучения квантового программирования не требует материально-технических вложений, что снимает значительную часть вопросов и облегчает процесс ассимиляции дисциплины. Единственные расходы, которые могут потребоваться, – это время, которое необходимо затратить профессорско-преподавательскому составу на погружение в предметную область.

Наконец, авторы являются сторонниками закона о переходе количества в качество. В связи с этим включение дисциплины «Методы квантового программирования» в образовательные программы видится вполне закономерным и последовательным шагом.

Результаты исследований и их обсуждение

Рассмотрим опыт работы со студентами с направления подготовки 10.05.01 «Компьютерная безопасность» МИРЭА. В 2021 г. в рамках осеннего семестра 5-го курса в качестве тем для НИР обучающимся было предложено взять на выбор исследования, которые связаны с возможными вариациями программирования удаленных квантовых вычислительных устройств. В течение осеннего семестра для студентов проводились дополнительные практические занятия, чтобы внести некоторое понимание концептуальных отличий квантовых компьютеров от классических. По результатам семестра провели проверку и защиту выполненных работ совместно с производным срезом знаний путем выполнения проверочных заданий. Стало очевидно, что за один семестр и без предварительной подготовки материал студентами, за редкими исключениями, не усваивается, работы выполнялись поверхностно, без погружения в суть исследования, широты и подробного охвата знаний у студентов не наблюдалось.

Было решено изменить стратегию подхода к обучению по квантовым вычислениям. На третьем году обучения студенты проходят годовой курс дисциплины МП. После предварительных договоренностей определили, что два завершающих месяца весеннего семестра посвящаются рассмотрению базовых вопросов, связанных с программированием квантовых компьютеров. Студенты посещают лекции и далее закрепляют материал посредством выполнения несложных лабораторных работ. И именно над таким фундаментом в дальнейшем предполагается более эффективное проведение углубленных надстроек и улучшений их базы знаний для комплексного и всестороннего изучения предметной области – программирования квантовых вычислительных устройств.

Реализованный подход дал первые результаты весной 2024 г., когда началась организация процесса оформления договора на выполнение научно-исследовательской работы в интересах

коммерческого заказчика по тематике квантовых технологий. К работе были привлечены студенты, продемонстрировавшие наиболее успешные результаты в ходе освоения образовательных программ. Сегодня студенты обучаются квантовым вычислениям в связке двух предметов: «Методы программирования» (3-й курс) – «НИР» (5-й курс). В дальнейшем планируется более расширенный подход к обучению в соответствии с ранее предложенной стратегией.

Заключение

1. Сделан очередной шаг на пути к созданию онтологии и формализации современной вычислительной парадигмы в образовательном процессе в контексте направления «Методы квантового программирования». Подтверждена актуальность необходимости внедрения новой дисциплины, что закономерно следует из непропорционального развития технологии по отношению к количеству образовательных программ и числу выпускающихся специалистов в области квантовых вычислений.

2. Проанализированы ключевые аспекты научно-практического направления, предложено формальное определение терминов «Методы программирования» и «Методы квантового программирования» для формирования представления о сути содержания и идеологического фундамента прикладных дисциплин.

3. Сформулированы цели и задачи направлений, рассмотрены варианты рабочих программ соответствующих дисциплин с учетом нормативных требований. Предложен план стратегии последовательной доработки программ профильных дисциплин технических направлений подготовки инженерных кадров в соответствии с потребностью в увеличении числа квалифицированных специалистов, отвечающих современным требованиям и тенденциям технологического развития.

4. Представленные результаты служат отправной точкой для дальнейшего закрепления фундаментальных положений рассматриваемой дисциплины в образовательном процессе укрупненных групп специальностей 09.00.00 и 10.00.00.

Список литературы

1. Анашкина, Н. В. Технологии и методы программирования / Н. В. Анашкина, Н. Н. Петухова, В. Ю. Смольянинов. М.: Академия, 2012.
2. Коджаспирова, Г. М. Педагогический словарь / Г. М. Коджаспирова, А. Ю. Коджаспиров. М.: Академия, 2000.

References

1. Anashkina N. V., Petukhova N. N., Smolyaninov V. Yu. (2012) *Technologies and Methods of Programming*. Moscow, Academy Publ. (in Russian).
2. Kodjaespirova G. M., Kodjaespirov A. Yu. (2000) *Pedagogical Dictionary*. Moscow, Academy Publ. (in Russian).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Крючков А. А., ст. преп., МИРЭА – Российский технологический университет

Князев М. А., асп., МИРЭА – Российский технологический университет

Адрес для корреспонденции

119454, Российская Федерация,
г. Москва, просп. Вернадского, 78
МИРЭА – Российский
технологический университет
Тел.: +7 499 215-65-65
E-mail: kryuchkov_a@mirea.ru
Крючков Андрей Андреевич

Information about the authors

Kryuchkov A. A., Senior Lecturer, MIREA – Russian Technological University

Knyazev M. A., Postgraduate, MIREA – Russian Technological University

Address for correspondence

119454, Russian Federation,
Moscow, Vernadsky Ave., 78
MIREA – Russian
Technological University
Tel.: +7 499 215-65-65
E-mail: kryuchkov_a@mirea.ru
Kryuchkov Andrey Andreevich



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-77-84>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.056:004.056.5

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СОБЫТИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СИСТЕМАХ ОБЛАЧНОЙ ПОДПИСИ

В. А. ГЕРАСИМОВ¹, О. В. БОЙПРАВ²

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

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 18.12.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. Обоснованы параметры и механизмы, которые могут быть заложены в основу метода обнаружения событий информационной безопасности в системах облачной подписи, где используется протокол активации подписи, и разработка такого метода. В качестве указанных параметров предложены: количество подписываемых электронных документов, количество неверных попыток аутентификации для доступа к личному ключу пользователя, скорость сравнения хэш-значения подписываемых документов, скорость отправки хэш-значения подписываемых данных в устройстве создания подписи. Рекомендуется в основу метода заложить механизмы математической статистики применительно к перечисленным параметрам. Представлены описание и результаты апробации разработанного метода, количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов анализа событий информационной безопасности в системах облачной подписи. Полученные значения оказались меньше аналогичных показателей, характерных для результатов анализа, проведенного с использованием других существующих методов. Это является основным преимуществом предлагаемого метода по сравнению с его аналогами.

Ключевые слова: SIEM-система, протокол активации подписи, профиль подписанта, система облачной подписи, событие информационной безопасности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Герасимов, В. А. Метод обнаружения событий информационной безопасности в системах облачной подписи / В. А. Герасимов, О. В. Бойправ // Цифровая трансформация. 2024. Т. 30, № 2. С. 77–84. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-77-84>.

METHOD FOR INFORMATION SECURITY EVENTS DETECTION IN A CLOUD SIGNATURE SYSTEMS

VYACHESLAV A. GERASIMOV¹, OLGA V. BOYPRAV²

¹Scientific Research Institute of Technical Protection of Information (Minsk, Republic of Belarus)

²Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 18.12.2023

Abstract. The parameters and mechanisms that can be used as the basis for a method for detecting information security events in cloud signature systems, where the signature activation protocol is used, and the development of such a method are substantiated. The following parameters are proposed: the number of signed electronic documents, the number of incorrect authentication attempts to access the user's personal key, the rate of comparing

the hash value of the signed documents, and the rate of sending the hash value of the signed data in the signature creation device. It is recommended to base the method on the mechanisms of mathematical statistics in relation to the listed parameters. The description and results of testing the developed method, the number of false positive and false negative results of the analysis of information security events in cloud signature systems are presented. The obtained values turned out to be less than similar indicators typical for the results of analysis carried out using other existing methods. This is the main advantage of the proposed method compared to its analogues.

Keywords: SIEM system, signature activation protocol, signer profile, cloud signature system, information security event.

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

For citation. Gerasimov V. A., Boyprav O. V. (2024) Method for Information Security Events Detection in a Cloud Signature Systems. *Digital Transformation*. 30 (2), 77–84. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-2-77-84> (in Russian).

Введение

Система облачной подписи (СОП) является инструментом для создания электронных документов, подписанных личным ключом пользователя с использованием облачных технологий. Данная система позволяет создавать, хранить и обмениваться электронными документами, созданными в этой системе. Однако, как и любая другая информационная система, СОП подвержена различным угрозам информационной безопасности.

Определение событий информационной безопасности – важная составляющая обеспечения безопасности СОП. Событие информационной безопасности¹ – это идентифицированный случай состояния системы или сети, указывающий на возможное нарушение политики информационной безопасности или на отказ средств защиты информации, либо ранее неизвестная ситуация, которая может быть связана с угрозой информационной безопасности. Этот процесс может включать в себя такие шаги, как наблюдение, анализ и реагирование на различные события, которые могут указывать на нарушение безопасности или попытки несанкционированного доступа к личным данным либо к личному ключу пользователя.

Своевременное обнаружение событий информационной безопасности и реагирование на них позволяют администраторам СОП выявлять потенциальные угрозы и принимать соответствующие меры по обеспечению безопасности таких систем. Эти меры могут включать в себя формирование уведомлений о нарушениях, блокировку доступа к уязвимым ресурсам.

Цель представленных в статье исследований – обоснование параметров и механизмов, которые могут быть заложены в основу метода обнаружения событий информационной безопасности в системах облачной подписи, где используется протокол активации подписи (ПАП), и разработка такого метода. Для достижения цели решались следующие задачи:

- 1) анализ функций компонентов СОП;
- 2) классификация событий в СОП, подлежащих журналированию, и событий информационной безопасности в СОП;
- 3) классификация событий, регистрируемых SIEM-системами;
- 4) обоснование параметров, которые целесообразно применять при формировании профиля подписанта;
- 5) определение порядка реализации разработанного метода;
- 6) апробация разработанного метода.

Метод анализа событий информационной безопасности при использовании протокола активации подписи

Протокол активации подписи применяется для обеспечения безопасного использования личного ключа при выработке значения облачной электронной цифровой подписи [1], выполняемой удаленным устройством создания подписи (УСП) от имени подписанта. ПАП используется в СОП, которая состоит из:

– сервера подписи (СП) – отвечает за проверку и передачу данных для выработки значения электронной цифровой подписи в УСП;

¹ Политика информационной безопасности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nlb.by/content/o-biblioteke/politika-informatsionnoy-bezопасnosti/>. Дата доступа: 13.12.2023.

- сервера документов (СД) – отвечает за создание и проверку электронных документов;
- сервера регистрации (СР) – отвечает за процессы, связанные с работой регистраторов регистрационных центров;
- УСП – отвечает за хранение личных ключей пользователей, процесс выработки значения электронной цифровой подписи (ЭЦП);
- клиентской программы пользователя/регистратора (КПП/КПР) – отвечает за предоставление интерфейса для выбора личного ключа/работы со слотами пользователя;
- прикладной системы (ПС) – отвечает за предоставление веб-интерфейса пользователям, регистраторам для взаимодействия с СОП.

В СОП базовыми событиями, которые подлежат журналированию и связаны с использованием ПАП, являются следующие действия:

- использование личного ключа пользователя;
- аутентификация пользователей в системе;
- получение электронного документа или его хэш-значения;
- начало и окончание формирования документа пользователем;
- получение от пользователя подтверждения на подпись документа;
- передача хэш-значения подписанных данных пользователя между компонентами СОП;
- получение значения ЭЦП;
- выгрузка и отправка электронного документа пользователю.

Схема взаимодействия между компонентами СОП представлена на рис. 1.

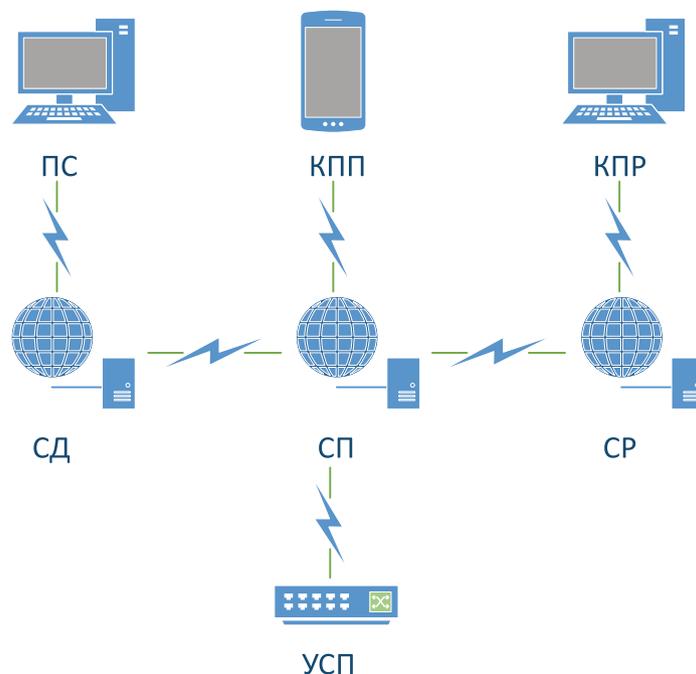


Рис. 1. Схема взаимодействия между компонентами системы облачной подписи
Fig. 1. Scheme of interaction between cloud signature system components

- Событиями информационной безопасности в СОП, в которой используется ПАП, являются:
- действия пользователя в ночное время;
 - действия пользователя, выполняемые с аномальной скоростью;
 - действия пользователя, пропускающие стандартные действия в рамках определенных процессов;
 - дублирование пользовательских сеансов.

Для анализа событий информационной безопасности в информационных системах в настоящее время широко используются SIEM-системы, в основу алгоритмов работы которых заложены механизмы идентификации и классификации событий². SIEM-системы регистрируют:

² SIEM-система [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://cloudnetworks.ru/inf-bezopasnost/siem-log-management/?utm_referrer=https%3a%2f%2fwww.google.com%2f. Дата доступа: 13.12.2023.

- 1) события аутентификации и авторизации:
 - успешная аутентификация пользователя;
 - неудачная попытка аутентификации или ввод неправильного пароля;
 - изменение привилегий или ролей пользователя;
- 2) события сетевой безопасности:
 - обнаружение атаки на сетевой уровень, например, фильтрация пакетов или атака отказа в обслуживании (DoS);
 - обнаружение вторжения или попытки взлома сетевых ресурсов;
 - отказ в аутентификации на сетевом уровне;
- 3) События системной безопасности:
 - обнаружение вредоносного программного обеспечения;
 - обнаружение незаконных действий или нарушений политик безопасности;
 - изменение конфигурации системы или нарушение целостности файловой системы;
- 4) события сбоев и угроз на уровне приложений:
 - ошибки приложений или их некорректное поведение;
 - попытки эксплойтов или использование известных уязвимостей в приложениях;
 - изменение настроек или конфигурации приложений;
- 5) События управления угрозами:
 - обнаружение подозрительной активности или аномалий в поведении пользователей или системы;
 - обнаружение атаки на безопасность или нарушения политик безопасности;
 - результаты анализа угроз и предупреждений о потенциальных угрозах.

Основной недостаток применяемых в настоящее время методов анализа событий информационной безопасности в информационных системах с помощью SIEM-систем состоит в том, что количество используемых в рамках указанных методов параметров, характеризующих контекст таких событий, недостаточно для того, чтобы установить характер поведения пользователя (злонамеренное или нет), которое обусловило их возникновение [2]. В связи с этим авторами предложено в основу метода анализа событий информационной безопасности в СОП, в которых используется ПАП, заложить выполнение анализа параметров цифрового образа пользователей этих систем, на основе которых можно установить, является ли выполнение протокола активации подписи обычным или же «аномальным». Под термином «цифровой образ»³ следует понимать представление пользователя в информационной системе, являющееся виртуальным посредником между информационной системой и пользователем при доступе последнего к ресурсам этой системы. В системах, к которым пользователь обращается многократно, обычно гарантируется неизменность его цифрового образа при повторных обращениях. То есть цифровой образ пользователя является устойчивым, его принимают другие стороны и отождествляют с пользователем. Параметры цифрового образа включают в себя параметры профиля подписанта.

Предлагается заложить следующие четыре параметра профиля подписанта в основу метода анализа событий информационной безопасности в СОП, в которых используется ПАП:

- 1) количество подписываемых электронных документов;
- 2) количество неверных попыток аутентификации для доступа к личному ключу пользователя (максимальное значение – 3);
- 3) скорость сравнения хэш-значения подписываемых электронных документов;
- 4) скорость отправки хэш-значения подписываемых данных в УСП.

Выбор перечисленных параметров обусловлен тем, что они чаще всего являются идентификаторами нарушения цифрового образа. Для анализа перечисленных параметров предлагается использовать механизмы математической статистики. Разработанный метод, основанный на вышеуказанных параметрах и механизмах, включает в себя три этапа:

- 1) сбор и предобработку данных о количестве подписываемых документов, количестве неверных попыток аутентификации пользователя для доступа к личному ключу, скорости сравнения хэш-значений и скорости отправки хэш-значений в УСП;

- 2) расчет статистических показателей [3] для каждого параметра, а также определение пороговых значений. Вычисление статистических показателей, таких как среднее значение и стандартное отклонение, на основе полученных ранее данных. Среднее значение представляет сред-

³ Информационные технологии и безопасность. Инфраструктуры аутентификации: СТБ 34.101.87–2022 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://apmi.bsu.by/assets/files/std/bias-spec130.pdf>. Дата доступа: 13.12.2023.

ную базовую точку для сравнения текущего события, а стандартное отклонение дает представление о разбросе данных. Пороговые значения рассчитываются путем добавления стандартных отклонений к среднему значению;

3) определение событий информационной безопасности, которое состоит:

– в анализе нового события путем сравнения значений текущих параметров с рассчитанными статистическими показателями;

– в классификации текущего события на основе сравнения текущих значений параметров с пороговыми значениями.

Если значения параметров выходят за пределы установленных пороговых значений, то событие может считаться событием информационной безопасности. В противном случае, если значения находятся в пределах пороговых значений, событие может быть классифицировано как нормальное.

Результаты исследований и их обсуждение

Для апробации разработанного метода была собрана фокус-группа, состоящая из 10 человек разного возраста (от 20 до 60 лет), с различным уровнем образования (среднее специальное, высшее). Участникам фокус-группы предоставили возможность изучить функционал СОП, после чего выполнить подписание ряда электронных документов с помощью ПС и КП, серверных компонентов СОП и УСП (количество документов – от одного до 10; количество итераций по подписанию каждого из документов – 20). Полученные по результатам каждой из итераций по подписанию электронного документа данные, представляющие собой значения приведенных выше параметров профиля каждого из подписантов из числа участников фокус-группы, группировались и записывались в базу данных (БД). В табл. 1 в качестве примера представлены полученные в ходе двадцати итераций по подписанию электронного документа данные профиля подписанта одного участника фокус-группы.

Таблица 1. Фрагмент данных, полученных от участника фокус-группы
Table 1. Fragment of data received from a focus group participant

Номер итерации / Iteration number	Количество / Quantity		Продолжительность / Duration	
	подписываемых документов / signed documents	неверных попыток аутентификации / invalid authentication attempts	сравнения хэш-значения, с / hash value comparisons, s	отправки хэш-значения, мс / sending hash value, ms
1	9	1	1,24,49,23,38,6,46,45,3	41,56,57,53,58,4,22,12,42
2	1	0	51	32
3	3	1	8,19,23	21,6,46
4	4	0	45,12,34,39	3,32,1,49
5	1	0	52	45
6	5	1	32,55,3,26,34	42,30,30,26,6
7	4	1	42,42,40,16	20,24,23,4
8	2	1	1,37	18,26
9	2	0	57,25	20,18
10	4	0	28,53,33,5	36,37,46,45
11	8	1	43,20,1,11,36,39,52,2	36,27,43,5,10,32,26,49
12	8	1	10,4,49,23,1,14,6,56	42,47,38,28,53,2,37,23
13	7	0	45,56,1,38,50,52,25	29,26,59,57,6,15,40
14	1	0	45	38
15	2	0	28,6	47,34
16	6	0	1,22,41,14,13,47	17,18,47,40,16,57
17	7	1	55,59,14,60,45,0,33	55,3,17,59,53,30,1
18	6	0	57,7,29,28,50,9	21,57,28,43,51,18
19	8	1	2,31,20,25,10,43,57,2	28,9,9,55,18,21,29,20
20	3	1	57,26,6	9,36,42

После того как каждый участник фокус-группы завершал двадцатую итерацию по подписанию электронных документов и пытался подписать новый электронный документ, начиналась реализация метода определения события инфомационной безопасности. Из БД по идентификатору подписанта извлекались данные предыдущих операций подписи и преобразовывались в векторы следующего вида:

{9,1,1,41}, {9,1,24,56}, {9,1,49,57}, {9,1,23,53}, {9,1,38,58}, {9,1,6,4}, {9,1,46,22},
{9,1,45,12}, {9,1,3,42}, {1,0,51,32}, {3,1,8,21}, {3,1,19,6}, {3,1,23,46}, {4,0,45,3}, {4,0,12,32},
{4,0,34,1}, {4,0,39,49}, {1,0,52,45}, {5,1,32,42}, {5,1,55,30}, {5,1,3,30}, {5,1,26,26}, {5,1,34,6},
{4,1,42,20}, {4,1,42,24}, {4,1,40,23}, {4,1,16,4}, {2,1,1,18}, {2,1,37,26}, {2,0,57,20}, {2,0,25,18},
{4,0,28,36}, {4,0,53,37}, {4,0,33,46}, {4,0,5,45}, {8,1,43,36}, {8,1,20,27}, {8,1,1,43}, {8,1,11,5},
{8,1,36,10}, {8,1,39,32}, {8,1,52,26}, {8,1,2,49}, {8,1,10,42}, {8,1,4,47}, {8,1,49,38}, {8,1,23,28},
{8,1,1,53}, {8,1,14,2}, {8,1,6,37}, {8,1,56,23}, {7,0,45,29}, {7,0,56,26}, {7,0,1,59}, {7,0,38,57},
{7,0,50,6}, {7,0,52,15}, {7,0,25,40}, {1,0,45,38}, {2,0,28,47}, {2,0,6,34}, {6,0,1,17}, {6,0,22,18},
{6,0,41,47}, {6,0,14,40}, {6,0,13,16}, {6,0,47,57}, {7,1,55,55}, {7,1,59,3}, {7,1,14,17}, {7,1,60,59},
{7,1,45,53}, {7,1,0,30}, {7,1,33,1}, {6,0,57,21}, {6,0,7,57}, {6,0,29,28}, {6,0,28,43}, {6,0,50,51},
{6,0,9,18}, {8,1,2,28}, {8,1,31,9}, {8,1,20,9}, {8,1,25,55}, {8,1,10,18}, {8,1,43,21}, {8,1,57,29},
{8,1,2,20}, {3,1,57,9}, {3,1,26,36}, {3,1,6,42}.

В каждом из представленных выше векторов первое значение соответствует количеству подписываемых документов, второе – количеству неверных попыток аутентификации, третье – продолжительности сравнения хэш-значения, четвертое – продолжительности отправки хэш-значения. В группе векторов, соответствующих одной итерации, первое и второе значения будут одинаковы, так как количество подписываемых документов и количество неверных попыток аутентификации формируются в самом начале использования ПАП. После получения групп векторов устанавливается множитель, который необходимо использовать при определении порогового значения для каждого из параметров, значения которых образуют вектор, а также следующие весовые коэффициенты для этих значений:

- количество подписываемых документов – наименьший коэффициент;
- количество неверных попыток аутентификации для доступа к личному ключу пользователя – высокий коэффициент;
- продолжительность сравнения хэш-значения подписываемых документов – средний коэффициент;
- продолжительность отправки хэш-значения подписываемых данных в УСП – высокий коэффициент.

После этого на основе полученных данных вычисляется стандартное отклонение σ по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2},$$

где n – количество значений в выборке; X_i , \bar{X} – отдельные и среднее значения в выборке соответственно.

Вычислив среднее значение каждого параметра и его стандартное отклонение, следует выполнить проверку новых значений на выход за пределы порогового значения каждого параметра путем сравнения текущего значения с суммой среднего значения параметра и произведения коэффициента порога, стандартного отклонения и весового коэффициента. Если значение превышает пороговое, принимается решение о том, что событие является нарушением устойчивости цифрового образа, и это событие помечается как событие информационной безопасности.

Рассмотрим несколько примеров практического использования разработанного метода в СОП, в которых применяется ПАП [4]. Среднее значение, стандартное отклонение и пороговое значение для каждого параметра, используемые в рамках этих примеров, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Среднее значение, стандартное отклонение и пороговое значение для каждого параметра
Table 2. Average value, standard deviation and threshold value for each parameter

Параметр / Parameter	\bar{X}	σ	Пороговое значение / Threshold value
Количество подписываемых документов	6,03	2,28	6,49
Количество неверных попыток аутентификации для доступа к личному ключу пользователя	0,63	0,49	1,59
Продолжительность сравнения хэш-значения подписываемых документов	28,82	18,93	47,65
Продолжительность отправки хэш-значения подписываемых данных	30,63	16,81	64,06

Пример 1. Входной параметр – вектор $\{1,3,0,0\}$. Это свидетельствует о том, что пользователю был отправлен на подпись 1 документ, количество реализованных им неверных попыток аутентификации для доступа к личному ключу – 3. Значение первого параметра не превышает пороговое значение (6,49), поэтому в соответствии с предложенным методом должен быть выполнен анализ значения второго параметра. Данное значение на 55,35 % превышает установленную пороговую величину (1,59). Это свидетельствует о том, что доступ к личному ключу был заблокирован, поскольку было превышено пороговое значение количества попыток аутентификации для доступа к личному ключу пользователя. В таком случае в соответствии с предложенным методом по завершении анализа значения второго параметра СОП и SIEM-системе будет передано сообщение о нарушении цифрового образа.

Пример 2. Входной параметр – вектор $\{10,1,50,120\}$, т. е. пользователю было отправлено на подпись 10 документов, количество реализованных им неверных попыток аутентификации для доступа к личному ключу – 1. Количество отправленных на подпись документов и количество попыток неверной аутентификации не превышают установленные пороговые значения (6,49 и 1,59 соответственно). Однако продолжительность сравнения хэш-значения подписываемых документов и продолжительность отправки хэш-значения подписываемых данных превышают установленные пороговые значения (47,65 и 64,06 соответственно). В таком случае в соответствии с предложенным методом по завершении анализа значения третьего параметра СОП и SIEM-системе будет передано сообщение о нарушении цифрового образа.

Пример 3. Входной параметр – вектор $\{20,3,0,0\}$, т. е. пользователю было отправлено на подпись 20 документов, количество реализованных им неверных попыток аутентификации для доступа к личному ключу – 3. Первое значение входного параметра на 208,17 % превышает установленное пороговое значение. В соответствии с предложенным методом по завершении анализа значения первого параметра СОП и SIEM-системе будет передано сообщение о нарушении цифрового образа.

Заключение

1. Разработанный метод представляется перспективным для организации процесса анализа событий информационной безопасности системы облачной подписи, в которых предусмотрено применение протокола активации подписи. Это обусловлено тем, что в основу метода заложены механизмы анализа параметров, характеризующих профиль подписанта в указанных системах, за счет чего можно установить, в каких случаях использование указанного протокола является штатным, а в каких «аномальным». Благодаря этому можно обеспечить уменьшение количества ложноположительных и ложноотрицательных результатов анализа событий информационной безопасности в системе облачной подписи.

2. При использовании предлагаемого метода обнаружения событий информационной безопасности обеспечиваются следующие возможности:

- обновление данных о действиях пользователя и перерасчет показателей пороговых значений;
- добавление возможности предоставления сведений при регистрации сведений о деятельности пользователя в системе облачной подписи для уменьшения ошибок при работе метода;
- комбинирование с другими методами обнаружения аномального поведения пользователей.

3. Дальнейшие исследования будут направлены на усовершенствование механизмов обнаружения событий информационной безопасности, на которых основан предложенный метод.

Список литературы

1. Герасимов, В. А. Использование системы облачной электронной подписи для организации электронного голосования / В. А. Герасимов, М. А. Казловский // *Цифровая трансформация*. 2024. Т. 30, № 1. С. 52–62. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-52-62>.
2. Кочин, В. П. Методика создания и структура корпоративного подразделения информационной безопасности / В. П. Кочин, А. В. Шанцов // *Цифровая трансформация*. 2022. Т. 28, № 3. С. 65–72. <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-3-65-72>.
3. Апанасевич, М. В. Разработка методики оценки уровня инновационного потенциала промышленного предприятия / М. В. Апанасевич // *Цифровая трансформация*. 2022. Т. 28, № 2. С. 5–13. <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-5-13>.
4. Performance Evaluation of Machine Learning Algorithms for Intrusion Detection System // *Cryptology ePrint Archive*. Mode of access: <https://eprint.iacr.org/2023/1546>. Date of access: 17.12.2023.

References

1. Herasimou V. A., Kazlouski M. A. (2024) Using a Cloud-Based Electronic Signature System for Organizing Electronic Voting. *Digital Transformation*. 30 (1), 52–62. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-30-1-52-62> (in Russian).
2. Kochin V. P., Shantsov A. V. (2022) Methodology of Creation and Structure of the Corporate Information Security Unit. *Digital Transformation*. 28 (3), 65–72. <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-3-65-72> (in Russian).
3. Apanasevich M. V. (2022) Development of a Methodology for Assessing the Level of Innovative Potential of an Industrial Enterprise. *Digital Transformation*. 28 (2), 5–13. <http://doi.org/10.35596/2522-9613-2022-28-2-5-13> (in Russian).
4. Performance Evaluation of Machine Learning Algorithms for Intrusion Detection System. *Cryptology ePrint Archive*. Available: <https://eprint.iacr.org/2023/1546> (Accessed 17 December 2023).

Вклад авторов / Authors' contribution

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

Сведения об авторах

Герасимов В. А., сотр. науч.-исслед. ин-та технической защиты информации, магистрант каф. информационных технологий автоматизированных систем, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Бойправ О. В., канд. техн. наук, доц., доц. каф. защиты информации, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Адрес для корреспонденции

220088, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Первомайская, 26, корп. 2
Научно-исследовательский институт
технической защиты информации
Тел.: +375 17 302-81-71
E-mail: vger@niitzi.by
Герасимов Вячеслав Александрович

Information about the authors

Gerasimov V. A., Employee of the Research Institute for Technical Information Protection, Master's Student at the Department of Information Technologies of Automated Systems, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

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

Address for correspondence

220088, Republic of Belarus,
Minsk, Pervomayskaya St., 26, build. 2
Scientific Research Institute
of Technical Protection of Information
Tel.: +375 17 302-81-71
E-mail: vger@niitzi.by
Gerasimov Vyacheslav Alexandrovich