



Научно-практический
рецензируемый журнал

ОТКРЫТОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Том 25. № 4. 2021

Учредитель:
РЭУ им. Г.В. Плеханова

Главный редактор
Юрий Филиппович Тельнов

Зам. главного редактора
Александр Викторович Бойченко
Василий Михайлович Трембач

Ответственный редактор
Елена Алексеевна Егорова
Никита Дмитриевич Эпштейн

Технический редактор
Елена Ивановна Аникеева

Журнал издается с 1996 года.
Свидетельство о регистрации СМИ:
ПИ №77-13926 от 11 ноября 2002 г.
ISSN (print) 1818-4243
ISSN (on-line) 2079-5939

Все права на материалы,
опубликованные
в номере, принадлежат журналу
«Открытое образование».
Перепечатка материалов,
опубликованных в журнале, без
разрешения редакции запрещена.
При цитировании материалов ссылка
на журнал «Открытое образование»
обязательна.

Мнение редакции может не совпадать
с мнением авторов

Журнал включен ВАКом в перечень
периодических научных изданий.

Тираж журнала
«Открытое образование»
1500 экз.

Адрес редакции:
117997, г. Москва,
Стремянный пер., 36, корп. 6, офис 345
Тел.: (499) 237-83-31, (доб. 18-04)
E-mail: Anikeeva.EI@rea.ru
Адрес сайта: www.openedu.rea.ru

Подписной индекс журнала
в каталоге «РОСПЕЧАТЬ»: 47209
в каталоге «Урал-Пресс»: 10574

© ФГБОУ ВО
«РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2021

Подписано в печать 16.08.21.
Формат 60х84 1/8. Цифровая печать.
Печ. л. 6,75. Тираж 1500 экз. Заказ

Напечатано в ФГБОУ ВО
«РЭУ им. Г.В. Плеханова».
117997, Москва, Стремянный пер., 36

СОДЕРЖАНИЕ

УЧЕБНЫЕ РЕСУРСЫ

- Д.А. Бархатова, А.Л. Симонова, П.С. Ломаско, Л.Б. Хегай*
Особенности «перевернутых» учебных ресурсов для
дистанционного обучения школьников 4

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СРЕДА

- А.П. Сергушичева, Е.Н. Давыдова*
Разработка и применение программного инструмента для
поддержки обучения формальным языкам 13
- Т.А. Кустицкая, Р.В. Есин*
Методика разработки электронных задач-тренажеров
для формирования компетенции решения математических
задач..... 23

ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ И УПРАВЛЕНИЯ

- Г.Н. Калянов*
Моделирование параллельных бизнес-процессов 39
- А.А. Микрюков, А.В. Куулар*
Совершенствование процесса управления инцидентами на
основе прецедентного подхода..... 47



Scientific and practical reviewed
journal

OPEN EDUCATION
Vol. 25. № 4. 2021

Founder:
**Plekhanov Russian University of
Economics**

Editor in chief
Yuriy F. Telnov

Deputy editor
Aleksandr V. Boichenko
Vasilii M. Trembach

Executive editor
Elena A. Egorova
Nikita D. Epshtein

Technical editor
Elena I. Anikeeva

Journal issues since 1996.
Mass media registration certificate:
№77-13926 on November 11, 2002
ISSN (print) 1818-4243
ISSN (on-line) 2079-5939

All rights for materials published in the
issue belong to the journal
«Open Education».

Reprinting of articles published in the
journal, without the permission of the
publisher is prohibited.

When citing a reference to the journal
«Open Education» is obligatory.

Editorial opinion may be different from
the views of the authors

The journal is included in the list of VAK
periodic scientific publications.
Journal articles are reviewed.
The circulation of the journal
«Open Education» – 1,500 copies.

Editorial office:
117997, Moscow,
Stremyanny lane. 36, Building 6,
office 345
Tel.: (499) 237-83-31 (18-04)
E-mail: Anikeeva.EI@rea.ru
Web: www.openedu.ru

Subscription index of journal
in catalogue «ROSPECHAT»: 47209
in catalogue «Ural-Press»: 10574

© Plekhanov Russian University of
Economics, 2021

Signed to print 16.08.21.
Format 60x84 1/8. Digital printing.
Printer's sheet 6,75. 1500 copies.
Order

Printed in Plekhanov Russian University of
Economics, Stremyanny lane. 36, Moscow,
117997, Russia

CONTENTS

EDUCATIONAL RESOURCES

- Daria A. Barkhatova, Anna L. Simonova, Pavel S. Lomasko,
Lyudmila B. Khegay*
Features of “Inverted” Educational Resources for Distance
Learning of Pupils..... 4

EDUCATIONAL ENVIRONMENT

- Anna P. Sergushicheva, Elena N. Davydova*
Development and Application of a Software Tool to Support
the Teaching of Formal Languages..... 13
- Tatiana A. Kustiitskaya, Roman V. Esin*
Design Methodology for Electronic Training Problems
Aimed at Development of Mathematical Problems Solving
Competence 23

PROBLEMS OF INFORMATIZATION OF ECONOMICS AND MANAGEMENT

- Georgiy N. Kalyanov*
Parallel Business Processes Modeling 36
- Andrei A. Mikryukov, Aleksina V. Kuular*
Improving the Incident Management Process Based on a Use
Case Approach 47

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА журнала «Открытое образование»

Александр Григорьевич Абросимов, д.п.н., проф., профессор кафедры электронной коммерции и управления электронными ресурсами прикладной информатики и информационной безопасности Самарского государственного экономического университета, Самара, Россия

Виктор Константинович Батоврин, д.т.н., проф., заведующий кафедрой информационных систем Московского института радиоэлектроники и автоматики, Москва, Россия

Мария Сергеевна Бережная, д.п.н., проф., профессор кафедры психологии РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

Александр Моисеевич Бершадский, д.т.н., проф., заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования Пензенского государственного технического университета, Пенза, Россия

Александр Викторович Бойченко, к.т.н., доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, директор Научно-исследовательского института «Стратегические информационные технологии» РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

Владимир Николаевич Васильев, д.т.н., проф., чл.-корр. РАН, ректор Санкт-Петербургского государственного института точной механики и оптики (технического университета), Санкт-Петербург, Россия

Татьяна Альбертовна Гаврилова, д.т.н., проф., заведующая кафедрой информационных технологий в менеджменте Высшей школы менеджмента, профессор кафедры информационных технологий в менеджменте Санкт-Петербургского Государственного Университета, Санкт-Петербург, Россия

Владимир Васильевич Голенков, д.т.н., проф., заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь

Елена Георгиевна Гридина, д.т.н., проф., директор информационно-вычислительного центра НИУ «МЭИ», Москва, Россия

Георгий Николаевич Калянов, д.т.н., проф., заведующий лабораторией Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

Константин Константинович Колин, д.т.н., проф., главный научный сотрудник Института проблем информатики Российской академии наук (ИПИ РАН), Москва, Россия

Виктор Михайлович Курейчик, д.т.н., проф., заместитель руководителя по научной и инновационной деятельности Технологического института Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

Николай Григорьевич Малышев, д.т.н., проф., чл.-корр. РАН, академик, президент Московского института экономики, менеджмента и права, Москва, Россия

Игорь Витальевич Метлик, д.п.н., заведующий лабораторией развития воспитания и социализации детей Института изучения детства, семьи и воспитания Российской академии образования, Москва, Россия

Геннадий Семенович Осипов, д.ф.-м.н., проф., заместитель директора по научной работе института системного анализа РАН, Москва, Россия

Борис Михайлович Позднеев, д.т.н., проф., проректор по менеджменту качества, заведующий кафедрой информационных систем МГТУ, Москва, Россия

Борис Аронович Позин, д.т.н., ст. науч. с., технический директор ЗАО «ЕС-лизинг», профессор Научного исследовательского университета Высшей школы экономики, Москва, Россия

Галина Валентиновна Рыбина, д.т.н., проф., профессор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Москва, Россия

Юрий Филиппович Тельнов, д.э.н., проф., заведующий кафедрой прикладных информационных технологий и информационной безопасности РЭУ им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

Владимир Павлович Тихомиров, д.э.н., проф., академик, президент «Евразийского открытого института», президент Международного консорциума «Электронный университет», Москва, Россия

Василий Михайлович Трембач, к.т.н., доцент кафедры 304 Московского авиационного института (Национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Владимир Львович Усков, к.т.н., проф., содиректор НИИ по образовательным интернет-технологиям университета Бредли, Пеория, США

Сергей Александрович Щенников, д.пед.н., проф., ректор Международного института менеджмента «Линк», Москва, Россия

THE EDITORIAL BOARD of the journal «Open Education»

Aleksandr G. Abrosimov, Doctorate of Pedagogic Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Informatics and Information Security, Samara State University of Economics, Samara, Russia

Viktor K. Batovrin, Doctorate of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Information Systems, Moscow Institute of Radio Electronics and Automatics, Moscow, Russia

Mariya S. Berezhnaya, Doctorate of Pedagogic Sciences, Professor, Professor of the Department of Psychology, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Aleksandr M. Bershadskiy, Doctorate of Engineering Science, Professor, Head of the Department of Computer Aided Design, Penza State Technical University, Penza, Russia

Aleksandr V. Boychenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department of Automated Information Processing Systems and Management, Director of Scientific and Research Institute "Strategic Information Technology", Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Vladimir N. Vasil'ev, Doctorate of Engineering Science, Professor, Corresponding member of RAS, Rector of Saint-Petersburg State Institute of Exact Mechanics and Optics (Technical University), Saint-Petersburg, Russia

Tatiana A. Gavrilova, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Head of Information Technologies in Management Department, Graduate School of Management, Saint Petersburg University, Saint Petersburg, Russia

Vladimir V. Golenkov, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Intellectual Information Technologies, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

Elena G. Gridina, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Director of Information and Computing Center, NRU "MPEI", Moscow, Russia

Georgiy N. Kalyanov, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Konstantin K. Kolin, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Chief Researcher of The Institute of Informatics Problems of The Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Viktor M. Kureychik, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Deputy Head for Research and Innovation, Institute of Technology, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Nikolay G. Malyshev, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Corresponding member of RAS, Academician, President of Moscow Witte University, Moscow, Russia

Igor' V. Metlik, Doctorate of Pedagogic Sciences, Professor, Head of the Laboratory of development, education and socialization of children Institute Studies of childhood, family and upbringing, The Russian Academy of Education, Moscow, Russia

Gennadiy S. Osipov, Doctorate of Physico-mathematical Sciences, Professor, Deputy Director of the Research Institute of Systems Analysis, The Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Boris M. Pozdneev, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Vice-Rector for Quality Management, Head of Information Systems, Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow, Russia

Boris A. Pozin, Doctorate of Engineering Sciences, Senior Researcher, CTO, EC – leasing Company, Professor, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Galina V. Rybina, Doctorate of Engineering Sciences, Professor, Professor of the National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

Yuriy F. Tel'nov, Doctorate of Economics, Professor, Head of the Department of Applied Informatics and Information Security, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Vladimir P. Tikhomirov, Doctorate of Economic Sciences, Professor, Academician, The President of the "Eurasian Open Institute", The President of the International consortium "Electronic university", Moscow, Russia

Vasily M. Trembach, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department 304, Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

Vladimir L. Uskov, PhD in Engineering, Professor, co-director of the Inter-Labs Research Institute of Bradley University, Peoria, USA

Sergey A. Shchennikov, Doctorate of Pedagogic Sciences, Professor, Rector of International Institute of Management "Link", Moscow, Russia

Особенности «перевернутых» учебных ресурсов для дистанционного обучения школьников*

Цель исследования. Цель настоящего исследования заключается в описании особенностей «перевернутых» учебных ресурсов, предназначенных для реализации дополнительной предметной подготовки школьников в дистанционном режиме, которые создаются на основе концепций вопросно-задачного подхода и микрообучения.

Технологии дистанционного обучения, повсеместно внедряемые в образовательную практику, требуют от обучаемого высокого уровня самоорганизации и внутренней мотивации к самостоятельной работе, что вызывает необходимость поиска новых подходов к разработке образовательных ресурсов, которые способствовали бы поддержанию интереса и внимания обучающихся до конца обучения. Особенности поколения современных школьников, такие как низкий уровень концентрации внимания, преобладание «клипового мышления» и визуального канала восприятия информации, поиск максимально комфортных условий осуществления образовательной деятельности обуславливают необходимость пересмотра формы и содержания учебной информации с учетом возможностей ее освоения по индивидуальной траектории.

Материалы и методы. В работе на основе теоретического анализа психолого-педагогической, методической литературы по теме исследования и современных статистических данных, демонстрирующих уровень готовности и мотивации обучающихся к самостоятельному дистанционному обучению, описываются особенности структуры и содержания «перевернутых» учебных ресурсов, построенных с учетом когнитивных и психосоциальных особенностей современного «цифрового» поколения. Обосновывается необходимость сжатия и структурирования учебного материала и представления в вопросно-задачном, визуализированном формате.

Результаты. В качестве результатов исследования в работе описываются понятие и особенности «перевернутых» учебных ресурсов. Под «перевернутым» учебным ресурсом понимается комплексное цифровое средство обучения, содержание которого представлено в форме иерархического дерева или семан-

тической сети вопросов, каждый из которых снабжается краткими визуализированными теоретическими сведениями и поясняющими практическими примерами, реализующими индуктивно-дедуктивные связи (конкретизация-обобщение). Основная идея разработки таких средств заключается в том, что «перевернутые» учебные ресурсы, с одной стороны, реализуют нелинейный подход к осуществлению учебной деятельности в соответствии с индивидуальными особенностями конкретного обучающегося (имеющийся уровень подготовки, пробелы в знаниях, конкретные интересы и затруднения), с другой — создают условия для изначальной систематизации и комплексной интериоризации осваиваемых знаний и способов действий, содержат «познавательный вызов», направленный на повышение учебной мотивации за счет реализации механизмов формирующего самоконтроля на начальном этапе. Исходя из указанных особенностей, авторами видится особый эффект применения подобных ресурсов в области дополнительной подготовки. Имея уже некий багаж знаний и опыта в осваиваемой предметной области, обучаемый может начинать изучение с выявления дефицитов и возможных затруднений, их рефлексии, и только затем приступить к более осознанному формированию новых знаний и конкретных способов действий.

Заключение. В заключении работы обобщаются особенности «перевернутых» ресурсов для дистанционного обучения школьников, приводятся дальнейшие планы развития проекта, а также определяются возможные сферы использования полученных результатов.

Материалы статьи могут представить интерес для разработчиков цифровых обучающих ресурсов, исследователей образовательных моделей обучения, учителям, желающим использовать цифровые когнитивные и ментальные технологии обучения.

Ключевые слова: дистанционное обучение, «цифровое» поколение, микрообучение, «перевернутые» учебные ресурсы, вопросно-задачный подход.

Daria A. Barkhatova, Anna L. Simonova, Pavel S. Lomasko, Lyudmila B. Khagay

Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafyev, Krasnoyarsk, Russia

Features of “Inverted” Educational Resources for Distance Learning of Pupils

Purpose of research. The purpose of the paper is to describe the features of the “inverted” educational resources intended for the implementation of additional subject training of schoolchildren in a distance mode, which are created on the basis of the concepts of the problem-solving approach and micro-learning.

Distance learning technologies, widely introduced into educational practice, require a high level of self-organization and internal

motivation from the student to work independently, which necessitates the search for new approaches to the development of educational resources that would help maintain the interest and attention of students until the end of training. Features of the generation of modern schoolchildren, such as a low level of concentration, the prevalence of “clip way of thinking” and the visual channel of information perception, the search for the most comfortable conditions for the

* Исследование выполнено при поддержке краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках реализации проекта №2021011106914 «Образовательная трансформационная Платформа «перевернутых» учебных ресурсов для дистанционного обучения школьников».

implementation of educational activities necessitate a revision of the form and content of educational information, taking into account the possibilities of its development along an individual trajectory.

Materials and methods. Based on a theoretical analysis of psychological, pedagogical, methodological literature on the topic of research and modern statistical data demonstrating the level of readiness and motivation of students for independent distance learning, the paper describes the features of the structure and content of “inverted” educational resources, built taking into account the cognitive and psychosocial characteristics of modern “digital” generation. The necessity of compressing and structuring educational material and presentation in a question-and-task, visualized format is substantiated.

Results. As the results of the research, the paper describes the concept and features of “inverted” educational resources. An inverted learning resource is understood as a complex digital learning tool, the content of which is presented in the form of a hierarchical tree or a semantic network of questions, each of which is supplied with brief visualized theoretical information and explanatory practical examples that implement inductive-deductive connections (concretization-generalization). The main idea behind the development of such tools is that the “inverted” learning resources, on the one hand, implement a non-linear approach to the implementation of learning activities in

accordance with the individual characteristics of a particular student (the current level of training, knowledge gaps, specific interests and difficulties), with the other – they create conditions for the initial systematization and complex internalization of the acquired knowledge and methods of action, contain a “cognitive challenge” aimed at increasing educational motivation through the implementation of mechanisms of formative self-control at the initial stage. Based on these features, the authors see a special effect of using such resources in the field of additional training. Having already a certain baggage of knowledge and experience in the subject area being mastered, the student can begin the study by identifying deficiencies and possible difficulties, their reflection, and only then proceed to a more conscious formation of new knowledge and specific methods of action.

Conclusion. In conclusion, the paper summarizes the features of “inverted” resources for distance learning of schoolchildren, provides further plans for the development of the project, and also identifies the possible areas to use the results.

The materials of the article may be of interest to developers of digital learning resources, researchers of educational learning models, teachers wishing to use digital cognitive and mental learning technologies.

Keywords: distance learning, “digital” generation, micro-learning, “inverted” learning resources, question-task approach.

Введение

Актуальность проблемы разработки и обоснования результативности новых средств предметного обучения школьников в дистанционном режиме обусловлена следующими ключевыми изменениями в области образовательной деятельности.

Во-первых, современные условия информационного бума и роста количества образовательных программ в области предметной подготовки, а также получения дополнительного образования в различных сферах деятельности, обеспечивающих экономическую конкурентоспособность страны, актуализируют дистанционные формы обучения как широкодоступные способы получения знаний. Дистанционное обучение позволяет не только решить проблемы обеспеченности учебного процесса повсеместно доступными качественными цифровыми ресурсами, но и создать условия для реализации персонализированных траекторий обучения, основанных на учете индивидуальных возможностей и способностей обучающихся. Более того, вынужденная мера перехода на дистанционное обучение, связанная с панде-

мией COVID-19, создала условия смягчения психологического барьера перед обучением без непосредственного контакта учеников с педагогом. По данным портала «РБК-Тренды» [1] вынужденная самоизоляция дала толчок развитию отечественных школьных онлайн-ресурсов, обновлению их содержания и качественного представления. Об этом свидетельствуют и работы А.М. Поповой [2], Н.Ю. Куликовой, Г.В. Цымбалюк [3], М.М. Нибабиной [4], И.М. Осмоловской, И.В. Усковой [5], Н.Г. Давыдовой, А.Н. Косарикова, Д.М. Кириллова, А.В. Игумнова [6] и др.

Во-вторых, технологии дистанционного обучения требуют от удаленных обучающихся высокого уровня самоорганизации и внутренней мотивации к самостоятельной работе, что вызывает необходимость поиска новых подходов к разработке образовательных ресурсов, которые способствовали бы поддержанию интереса и внимания обучающихся до конца обучения. По данным источников [7–9] результативность дистанционного обучения является на текущий момент крайне низкой, полностью автономные онлайн-курсы успешно завершает толь-

ко около 5% записавшихся. С.А. Христочевский в [10] подчеркивает, что к специфическим особенностям дистанционного образования можно отнести то, что обучающимся требуется иметь очень высокий уровень самоорганизации, а также развитые «гибкие навыки» (soft skills) по самостоятельному планированию, контролю и рефлексии учебной деятельности. Многие исследователи также подчеркивают важность использования дополнительных механизмов стимулирования познавательного интереса и активности в условиях дистанционного обучения школьников, что отражено в работах А.В. Орловой [11], М.Л. Аграновича, Ю.В. Ермачковой, М.А. Ливенец [12], Т.А. Посакаловой, О.В. Рубцовой [13], В.А. Севрюковой, Е.В. Спиновой [14] и пр.

Наконец, в настоящее время некоторые ученые в области когнитивной психологии и педагогики при проектировании и реализации образовательного процесса призывают учитывать особенности представителей различных поколений, выделенных У. Штраусом и Н. Хоувом еще в 1991-м году [15, 16]. Опираясь на работы М.Р. Мирошкиной [17], О.А. Мироновой [18],

Н.Г. Померанцевой, Т.А. Сыриной [19], Н.С. Бастраковой [20] можно утверждать, что современные обучающиеся российских школ (рожденные в период с 2003 по 2013 гг.), относятся к так называемому «цифровому» поколению, иногда именуемому также «сетевым». Его представители по мнению вышеуказанных авторов имеют определенные когнитивные и психосоциальные особенности, которые следует учитывать при реализации дистанционного обучения. А именно при проектировании цифровых средств обучения в фокусе должны быть: ориентированность на организации усвоения небольших «порций» дидактического содержания (микрообучение), интерактивность и частая смена деятельности (диалоговый режим), максимальная структурированность и визуализация учебной информации, более подробно это также отражено в [21].

Более того, важными для теории и практики онлайн-образования представляются выводы, которые приводятся исследователями автономной некоммерческой организации «Институт цифровой трансформации образования». В разделе «Практика» сайта данной организации (<https://e-learning.idte.ru/practice>) представлены рекомендации, способствующие формированию устойчивой внутренней мотивации к обучению в дистанционном формате, в числе которых указывается трансформация цифрового контента с учётом особенностей «цифровых» поколений. Суть их заключается в необходимости следования тенденции к тому, что при прохождении дистанционного обучения современные школьники скорее хотят получить ответы на конкретные вопросы, а не «багаж знаний», из которого необходимо выбрать необходимое самостоятельно. Объяснить это можно тем, что современная молодежь (как и

представители других поколений населения РФ) существует в условиях постоянной необходимости взаимодействовать с большими потоками информации и критически ее обрабатывать. Как показывает практика, обучающимся проще ввести запрос в поисковой Интернет-системе и выбрать тот контент, который дает наиболее быстрый ответ и удовлетворяет их требованиям к восприятию наглядной и лаконичной информации. Сегодня длинные неструктурированные тексты с минимальной визуализацией слабо воспринимаются молодыми людьми, особенно в условиях организованного предметного обучения.

Таким образом, несмотря на достаточно объемный массив исследований, посвященных теории и практике развития онлайн-обучения, на сегодняшний день в педагогической науке исчерпывающего ответа на вопрос о том, какие конкретно средства дистанционного предметного обучения школьников являются наиболее эффективными и как именно их следует разрабатывать — нет.

Предполагается, что повысить результативность дистанционного предметного обучения школьников можно через использование нового формата «перевернутых» учебных ресурсов, построенных с учётом принципов микрообучения и представленных в виде дерева основополагающих и проблемных вопросов и задач. Изучение таких ресурсов-микроблоков должно быть рассчитано на 10–15 минут с максимальной вовлеченностью в практическую деятельность, что позволяет активизировать и поддержать самостоятельную работу обучающегося и сделать усвоение информации более продуктивным. Содержание микроблоков оформляется в виде интерактивных «учебных карточек» — элементов, в ко-

торых материал представлен в визуализированной форме с чередованием практических заданий, что отвечает современным запросам «цифрового» поколения.

Цель работы заключается в описании особенностей «перевернутых» учебных ресурсов, предназначенных для реализации дополнительной предметной подготовки школьников в дистанционном режиме, которые создаются на основе концепций вопросно-задачного подхода и микрообучения.

Понятие и особенности «перевернутых» учебных ресурсов

Необходимость сжатия учебной информации до микроразмеров обусловлена тем, что широкое распространение соцсетей, сервисов с короткими аудио- и видеоматериалами, статьями, представляющих максимально лаконичную информацию в визуальном формате, способствует ее лучшему усвоению и запоминанию как способа компенсации дефицита клипового мышления [18, 20]. С позиции микрообучения «перевернутые» учебные ресурсы подразумевают изменение линейной стратегии обучения на нелинейную, порождают потребность пересмотра структурной композиции и содержания учебной информации. Здесь рационально принять во внимание подход, основанный на изучении вопросов и задач [22] и «перевернутости» учебного материала. В традиционном представлении учебный материал подается в следующей последовательности: теоретический материал, вопросы и задачи, контрольные задания. В «перевернутых» ресурсах предлагается представлять контент, начиная с вопросов и задач, а в качестве обобщения материала переходить к теме в традиционном формате.

Для уточнения введем понятие «перевернутого» учебно-

го ресурса, предназначенного для реализации дополнительного предметного обучения школьников в дистанционном режиме. «Перевернутый» учебный ресурс – это комплексное цифровое средство обучения, содержание которого представлено в форме иерархического дерева или семантической сети вопросов, каждый из которых снабжается краткими визуализированными теоретическими сведениями и поясняющими практическими примерами, реализующими индуктивно-дедуктивные связи (конкретизация – обобщение).

Основная идея разработки таких средств заключается в том, что «перевернутые» учебные ресурсы позволяют реализовать нелинейную инверсию когнитивных процессов при освоении нового учебного материала. Известно, что в традиционной дидактике, основанной на системно-деятельностном подходе, при проектировании учебных занятий выделяют следующие этапы: актуализация опорных знаний, представление и первичное закрепление нового содержания, формирование практических умений и навыков (способов действий), контроль и самоконтроль, систематизация и обобщение, дидактическая и эмоциональная рефлексия учебного опыта. «Перевернутые» учебные ресурсы, с одной стороны, реализуют нелинейный подход к осуществлению учебной деятельности в соответствии с индивидуальными особенностями конкретного обучающегося (имеющийся уровень подготовки, пробелы в знаниях, конкретные интересы и затруднения), с другой – создают условия для изначальной систематизации и комплексной интериоризации осваиваемых знаний и способов действий, содержат «познавательный вызов», направленный на повышение учебной мотивации за счет реализации механизмов

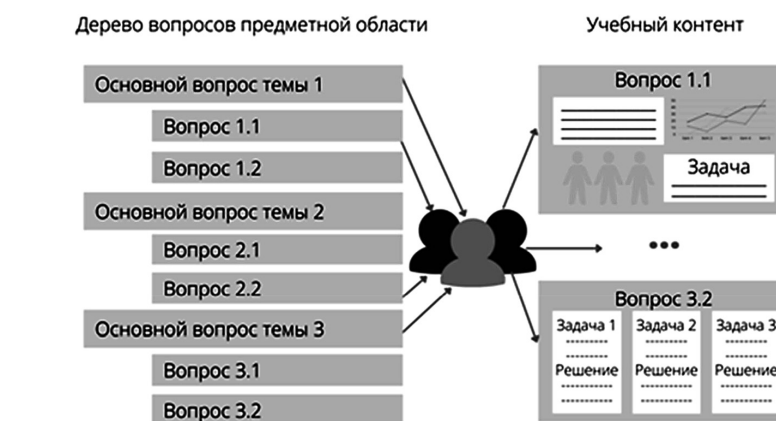


Рис. 1. Принцип построения структуры «перевернутого» учебного ресурса

Fig. 1. The principle of building the structure of the “inverted” educational resource

формирующего самоконтроля на начальном этапе.

Система «перевернутого» электронного ресурса состоит в замене целой последовательной формы представления учебного материала в нелинейную, сетевую структуру с

вопросно-задачной основной линией (рис. 1) [22], где обучаемый может следовать заданной последовательности изучения вопросов или самостоятельно выбирать свой маршрут, отсеивая уже знакомые ему темы. Учитывая, что

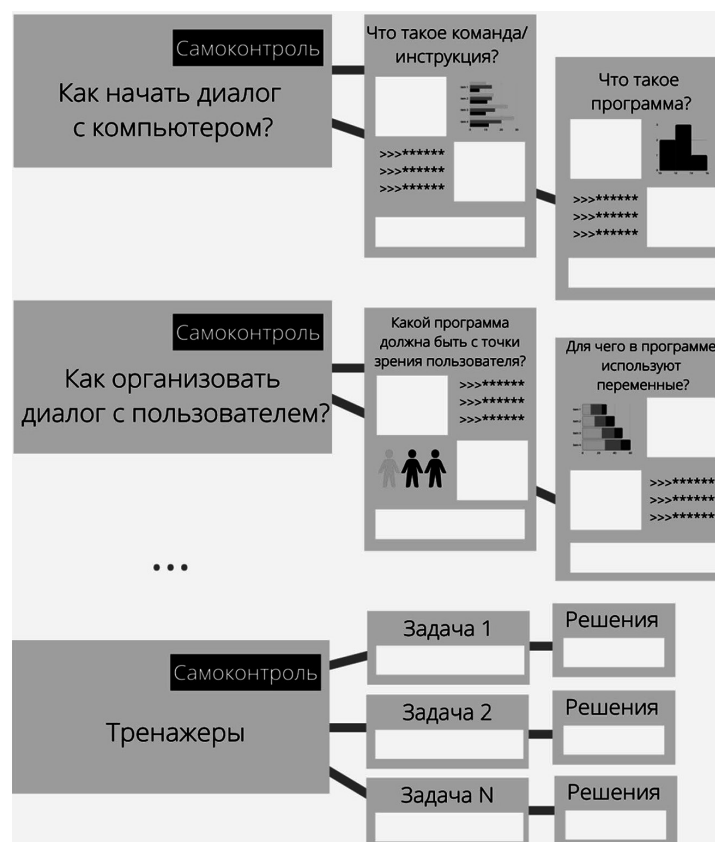


Рис. 2. Пример представления содержания «перевернутого» электронного ресурса по теме «Основы программирования»

Fig. 2. An example of the content presentation of the “inverted” electronic resource on the topic “Fundamentals of Programming”

сегодня практически каждый школьник посещает курсы дополнительного образования, кружки, мастер-классы, занимается с репетитором, а при подготовке к экзаменам самостоятельно использует материалы различных образовательных ресурсов в сети Интернет, то некоторый материал может быть ему знаком, а, следовательно, в условиях самостоятельной работы обучаемый может пропустить тот или иной блок. Однако, как показывает практика, не всегда уже пройденный материал изучен полностью, знания могут носить поверхностный характер, а недопонимание некоторых отдельных элементов в курсе, кажущиеся на момент изучения незначительными, могут привести к трудностям дальнейшего изучения предмета. Здесь целесообразным видится выделение блока самоконтроля уровня усвоения знаний на первый план, что позволит учащемуся самостоятельно убедиться, что данный раздел или микроблок полностью им изучен и понятен (рис. 2). Контроль можно пройти, как до прохождения раздела или микроблока, так и после.

Следует отметить, что самостоятельное обучение с использованием дистанционных образовательных технологий на специализированных образовательных платформах предусматривает изменение подходов к разработке и использованию средств оценивания образовательных результатов обучающихся. В процессе самостоятельной работы с «перевернутыми» учебными материалами важно осуществлять непрерывное формирующее оценивание, обеспечивающее обратную связь в формате самооценки. По мнению российских и зарубежных исследователей [23, 24] такое оценивание направлено на определение индивидуальных достижений обучающегося, его мотивацию на дальнейшее обучение,

планирование целей и путей их достижения и реализуется через использование средств, улучшающих качество подготовки обучающихся. Результаты формирующего оценивания должны определять порядок и объем дальнейшей самостоятельной работы обучающегося с учебными материалами.

Средства формирующего оценивания, предназначенные для использования при работе с «перевернутыми» учебными ресурсами, должны быть представлены таким образом, чтобы они обеспечивали реализацию принципов построения в виде вопросно-задачного дерева и соответствовали возможностям автоматизированной проверки, то есть не требовали ввода развёрнутого ответа. В качестве форм для реализации таких средств можно использовать различные модификации матриц запоминания, предполагающих заполнение пустых ячеек в таблице; заполнение пропусков в тексте, бланках; тестовые и интерактивные задания на дополнение, выбор, сопоставление, сортировку; автоматизированные аудиоопросы и др. Такие средства могут быть реализованы посредством инструментария многочисленных онлайн-конструкторов интерактивного контента с последующим встраиванием в

образовательную платформу в виде, например, мультимедийных SCORM- или H5P-пакетов (рис. 3).

Подобные «перевернутые» учебные ресурсы предназначены в первую очередь для реализации дополнительной предметной подготовки обучающихся в дистанционном режиме. Здесь имеется в виду, например, подготовка к государственной итоговой аттестации в 9-м или 11-м классах (ОГЭ и ЕГЭ), проведение факультативных и элективных курсов, осуществление тренировок участников предметных олимпиад, обеспечение внеурочной деятельности по общеинтеллектуальному направлению, отдельных междисциплинарных блоков, расширяющих и/или углубляющих содержание школьной программы. Поскольку речь идет о дополнительной подготовке, то вполне логичным кажется предположить, что у каждого из обучающихся может уже иметься некий багаж знаний и опыта в осваиваемой предметной области. Поэтому здесь разумным вариантом представляется использование «перевернутых» учебных ресурсов, позволяющих переопределить приоритеты дидактических задач и начинать такую подготовку с первичной



Дана программа и протокол её выполнения.

Как нужно исправить данную программу, чтобы результатом её выполнения был вывод суммы любых вводимых чисел?

Заполни пропущенные фрагменты программы.

a = int input ()

b = float input ()

c = a + b

print (c)

Хорошо :)

3/4

Показать решения

Повторить

Рис. 3. Пример интерактивного средства формирующего оценивания

Fig. 3. An example of the interactive formative assessment tool

систематизации, диагностических действий по выявлению дефицитов и возможных затруднений, их рефлексии, и только затем приступать к более осознанному формированию новых знаний и конкретных способов действий.

Резюмируя вышеизложенное, приведем ключевые особенности «перевернутых» учебных ресурсов для дополнительной предметной подготовки школьников в условиях дистанционного обучения. К ним относятся следующие.

Во-первых, общее содержание «перевернутого» учебного ресурса должно быть изначально систематизировано и представлено в виде визуализированного дерева или ментальной схемы или концепт-карты осваиваемой предметной области, где каждая оконечная вершина представляется в виде проблемных вопросов и заданий с названиями в вопросительной форме.

Во-вторых, для каждого вопроса создается ответ в виде информационного сообщения, используя ссылки на материалы смежных учебных элементов. Информационный материал строится в «перевернутом» виде: от ответа на вопрос до общей теории по восходящей (индуктивной) линии. Материал должен быть представлен в сжатой и максимально наглядной форме с возможностью перехода к расширенной версии с текстовыми пояснениями, мультимедийным содержимым (аудио-комментарии, скринкасты, краткие учебные видеоролики, дополнительные иллюстрации).

В-третьих, представление ответов на проблемные вопросы должно осуществляться на конкретных примерах (используются задания на проблематизацию, упражнения-вызовы, показывающие отсутствие у обучающихся опыта или навыков, необходимых для решения актуальных для них

задач). А задания, нацеленные на освоение конкретных способов действий через решение обучающимися практических задач, также содержат систематизированную ментальную схему (дерево, концепт-карту) алгоритма решения задачи и реализуют технологию формирующего оценивания. Должны быть созданы условия для осуществления учебных действий в режимах «Решатель» (освоение), «Тренажер» (закрепление и самоконтроль), «Контролер» (фиксация и оценка образовательного микрорезультата).

Наконец, такие ресурсы должны реализовывать обратную-дедуктивную линию, когда практика обобщается до теоретических знаний: изучение материала начинается не с теории, а с решения конкретной практической задачи, в ходе которого обучающиеся целенаправленно обогащают свои декларативные и процедурные знания; создаются условия для вторичной систематизации, обобщения содержания дополнительной подготовки и рефлексии полученного опыта учебной деятельности.

Заключение

В завершение изложения приведем основные итоги и полученные выводы. Так в ходе анализа ряда научно-методических источников было установлено, что проблема разработки и обоснования результативности новых средств дополнительной предметной подготовки обучающихся общеобразовательных школ в дистанционном режиме является важной и актуальной в силу общих трендов цифровизации образования и массового распространения технологий дистанционного обучения. При этом существующие подходы к разработке цифровых образовательных ресурсов не в полной мере отражают необходимые особенности современного «цифрового» поколения,

как правило, не имеют дополнительных механизмов, позволяющих развивать «гибкие навыки» (soft skills) поддерживать и усилить учебную мотивацию, которая является важным фактором успешности обучения в дистанционном режиме.

Одним из вариантов инновационных средств для осуществления дополнительной онлайн-подготовки школьников (ОГЭ и ЕГЭ, внеурочная деятельность, факультативные и элективные курсы и пр.) могут стать «перевернутые» учебные ресурсы, которые позволят выстроить педагогический процесс более гибко за счет инверсии традиционных дидактических этапов и выстраивания нелинейных траекторий освоения нового содержания в цифровой среде в более персонализированной форме.

В качестве ключевых особенностей подобного рода ресурсов были выделены: общее представление содержания в наглядной систематизированной форме (ментальная или концепт-карта, дерево), опора на микрообучение, высокая степень интерактивности средств формирования и оценивания образовательных результатов, фокус на целенаправленную деятельность по поиску ответов на проблемные вопросы и выполнения связанных с ними заданий, использование механизмов первичной и вторичной систематизации, технологий формирующего оценивания и дидактической рефлексии.

Предполагается, что использование «перевернутых» учебных ресурсов в условиях дополнительной предметной подготовки будет способствовать созданию максимально комфортных условий самостоятельной работы обучающихся и позволит повысить её результативность. Нелинейная структура «перевернутых» ресурсов позволяет обучаемым самостоятельно выбирать свой маршрут обучения и компоно-

вать содержание с учетом уже имеющегося опыта и знаний, а вопросно-задачное представление с разбиением на мелкие блоки позволяет избежать ситуации «поверхностного» изучения материалов.

Ожидается, что процесс дополнительной подготовки школьников, основанной на использовании указанных ресурсов, позволит повысить уровень мотивации к учебной деятельности в онлайн-режиме, среднюю результативность достижения образовательных результатов (фактический средний балл по отношению

к максимально возможному), уровень удовлетворенности участников образовательного процесса. Кроме этого, прогнозируется, что подобный подход позволит сократить время, затрачиваемое на формирование у обучающихся новых декларативных и процедурных знаний, формирование и развитие планируемых способов действий в осваиваемой предметной области.

На текущий момент авторами настоящей статьи планируется разработка серии комплексных «перевернутых» учебных ресурсов в рамках

предметной области информатики и информационных технологий по направлениям: «Основы алгоритмизации», «Компьютерное моделирование», «Основы программирования», «Веб-программирование», «Телекоммуникационные технологии», «Технологии обработки текстовой, графической и мультимедийной информации», «Основы искусственного интеллекта», «Веб-дизайн». Предполагается, что данные ресурсы будут проходить апробацию на базе нескольких школ г. Красноярска в течение 2022 г.

Литература

1. Официальный сайт РБК. Тренды. Взрывной рост: рейтинг лидеров рынка онлайн-образования России. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/education/5fa1cc249a794739b65c7b5c>. (Дата обращения: 15.06.2021).
2. Попова А.М. Онлайн-обучение школьников и студентов // Вопросы педагогики. 2020. № 4(2). С. 283–287.
3. Куликова Н.Ю., Цымбалюк Г.В. Онлайн-обучение школьников перспективным направлениям информатики и робототехники в процессе сетевого взаимодействия // Информатизация образования-2020. 2020. С. 340–345.
4. Нибабина М.М. Разработка онлайн-платформы для интерактивного обучения информатике школьников // Будущее науки-2021. 2021. С. 404–408.
5. Осмоловская И.М., Ускова И.В. Домашняя работа школьников: уроки дистанционного обучения // Школьные технологии. 2020. № 3. С. 52–58.
6. Давыдова Н.Г., Косариков А.Н., Кириллов Д.М., Игумнов А.В. Дополнительное образование в онлайн-формате: новая реальность в проектом обучении старшеклассников [Электрон. ресурс] // Открытое образование. 2020. № 24(6). С. 41–50. Режим доступа: <https://openedu.rea.ru/jour/article/view/805/521>. (Дата обращения: 25.05.2021).
7. Уваров А.Ю., Гейбл Э., Дворецкая И.В. и др. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования. Под ред. А.Ю. Уварова, И.Д. Фрумина. М.: Издательский дом Высшей школы Экономики, 2019. 342 с.
8. Пеккер П.Л. Причины отсева слушателей при онлайн-обучении // Ценности и смыслы. 2019. № 1. С. 139–151.
9. Ломаско П.С., Мокрый В.Ю. Анализ причин неуспеваемости слушателей в процессе реализации онлайн-курсов повышения квалификации // Дистанционное обучение в высшем образовании: опыт, проблемы и перспективы развития. (Санкт-Петербург, 23 апреля 2019 года). СПб.: Издательство СПГУП, 2019. С. 130–133.
10. Христочевский С.А. Проблемы массового дистанционного обучения в условиях пандемии // Информатика и образование. 2021. № 4. С. 4–11.
11. Орлова А.В. Проблемы мотивации дистанционного обучения на примере анализа онлайн ресурсов для обучения школьников математике // Герценовские чтения: психологические исследования в образовании. 2018. С. 326–333.
12. Агранович М.Л., Ермакова Ю.В., Ливенец М.А. Онлайн-обучение в период пандемии COVID-19 и неравенство доступа к образованию // Федерализм. 2020. № 3. С. 188–206.
13. Посакалова Т.А., Рубцова О.В. Онлайн-обучение в период пандемии COVID-19: особенности восприятия подростками нового образовательного опыта // Цифровые технологии на службе педагогики и психологии. 2021. С. 183–187.
14. Севрюкова В.А., Спинова Е.В. Дистанционное обучение: школьные реалии // Социально-педагогические вопросы образования и воспитания. 2021. С. 90–95.
15. Strauss W., Howe N. Generations: The history of America's future, 1584 to 2069. New York: Quill, 1991.
16. Попов Н.П. Российские и американские поколения XX века: откуда пришли миллениалы? // Мониторинг. 2018. № 4(146). С. 309–323.
17. Мирошкина М.Р. Интерпретации теории поколений в контексте российского образования // Ярославский педагогический вестник. 2017. № 6. С. 30–35.

18. Миронова О.А. Проблемы и задачи цифрового образования в России в контексте теории поколений // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). 2019. № 1. С. 51–63.

19. Померанцева Н.Г., Сырина Т.А. Взаимосвязь теории поколений и личностно ориентированного обучения иностранному языку // Мир науки. 2017. Т. 5. № 6. С. 46–46.

20. Бастрасова Н.С. Цифровое поколение в проекции жизненного самоопределения // Новые информационные технологии в образовании и науке. 2018. № 1. С. 103–109.

21. Ломаско П.С., Мокрый В.Ю. Методологические основания построения систем цифрового обучения // Дистанционное обучение в

высшем образовании: опыт, проблемы и перспективы развития. (Санкт-Петербург, 20 апреля 2021 года). СПб.: Издательство СПГУП, 2021. С. 153–156.

22. Асауленко Е.В. Анализ процесса развития методов контроля знаний с позиции теории черного ящика // Педагогическое образование в России. 2016. № 5. С. 41–46.

23. Пинская М.А. Формирующее оценивание: оценивание в классе: учеб. пособие. М.: Логос, 2010. 264 с.

24. Бодоньи М.А. Зарубежный и отечественный опыт использования современных технологий в формирующем оценивании // Отечественная и зарубежная педагогика. 2020. № 3(68). С. 78–95.

References

1. Ofitsial'nyy sayt RBK. Trendy. Vzryvnoy rost: reyting liderov rynka onlayn-obrazovaniya Rossii = Official RBC website. Trends. Explosive growth: Ranking of online markets for online education in Russia. [Internet]. Available from: <https://trends.rbc.ru/trends/education/5fa1cc249a794739b65c7b5c>. (cited 15.06.2021). (In Russ.)

2. Popova A.M. Online training of schoolchildren and students. Voprosy pedagogiki = Questions of pedagogy. 2020; 4(2): 283–287. (In Russ.)

3. Kulikova N.YU., Tsybalyuk G.V. Online training of schoolchildren by promising areas of computer science and robotics in the process of network interaction. Informatizatsiya obrazovaniya-2020 = Informatization of education-2020. 2020: 340–345. (In Russ.)

4. Nibabina M.M. Development of an online platform for interactive learning of schoolchildren computer science. Budushcheye nauki-2021 = Future science-2021. 2021: 404–408. (In Russ.)

5. Osmolovskaya I.M., Uskova I.V. Homework schoolchildren: Distance learning lessons. Shkol'nyye tekhnologii = School technologies. 2020; 3: 52–58. (In Russ.)

6. Davydova N.G., Kosarikov A.N., Kirillov D.M., Igumnov A.V. Additional education in online format: a new reality in the project training of high school students [Internet]. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2020; 24(6): 41–50. Available from: <https://openedu.rea.ru/jour/article/view/805/521>. (cited 25.05.2021). (In Russ.)

7. Uvarov A. YU., Geybl E., Dvoretzkaya I.V. et al. Trudnosti i perspektivy tsifrovoy transformatsii obrazovaniya = Difficulties and prospects for digital transformation of education. Ed. A.YU. Uvarova, I.D. Frumina. Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics; 2019. 342 p. (In Russ.)

8. Pekker P.L. Causes of reading listeners with online learning. Tsennosti i smysly = Values and meanings. 2019; 1: 139–151. (In Russ.)

9. Lomasko P.S., Mokryy V.YU. Analysis of the reasons for the failure of students in the process of implementing online training courses. Distantionnoye obucheniye v vysshem obrazovanii: opyt, problemy i perspektivy razvitiya = Distance learning in higher education: experience, problems and development prospects. (St. Petersburg, April 23, 2019). Saint Petersburg: Publisher SPGUP; 2019: 130–133. (In Russ.)

10. Khristocheskiy S.A. Problems of mass distance learning in a pandemic. Informatika i obrazovaniye = Informatics and education. 2021; 4: 4–11. (In Russ.)

11. Orlova A.V. Problems of motivation of distance learning on an example of an analysis of online resources for training schoolchildren mathematics. Gertsenovskiy chteniya: psikhologicheskiye issledovaniya v obrazovanii = Herzen readings: psychological studies in education. 2018: 326–333. (In Russ.)

12. Agranovich M.L., Yermachkova YU.V., Livenets M.A. Online training in the Pandemic period COVID-19 and the inequality of access to education. Federalizm = Federalism. 2020; 3: 188–206. (In Russ.)

13. Poskakalova T.A., Rubtsova O.V. Online training in the Pandemic period COVID-19: Features of perception of adolescents of new educational experience. Tsifrovyye tekhnologii na sluzhbe pedagogiki i psikhologii = Digital technologies in the service of pedagogy and psychology. 2021: 183–187. (In Russ.)

14. Sevryukova V.A., Spinova Ye.V. Distance learning: School Realities. Sotsial'no-pedagogicheskiye voprosy obrazovaniya i vospitaniya = Socio-pedagogical issues of education and upbringing. 2021: 90–95. (In Russ.)

15. Strauss W., Howe N. Generations: The history of America's future, 1584 to 2069. New York: Quill; 1991.

16. Popov N.P. Russian and American generations of the 20th century: where did Millennials come

from? Monitoring = Monitoring. 2018; 4(146): 309–323. (In Russ.)

17. Miroshkina M.R. Interpretations of generation theory in the context of Russian education. Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik = Yaroslavl pedagogical messenger. 2017; 6: 30–35. (In Russ.)

18. Mironova O.A. Problems and tasks of digital education in Russia in the context of the theory of generations. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta (RINKH) = Bulletin of the Rostov State Economic University (RINX). 2019; 1: 51–63. (In Russ.)

19. Pomerantseva N.G., Syrina T.A. The relationship between the theory of generations and personal-oriented learning in a foreign language. Mir nauki = World of Science. 2017; 5; 6: 46–46. (In Russ.)

20. Bastrakova N.S. Digital generation in the projection of life self-determination. Novyye informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii i nauke = New information technologies in education and science. 2018; 1: 103–109. (In Russ.)

21. Lomasko P.S., Mokryy V.YU. Methodological foundations for building digital learning systems. Distantionnoye obucheniye v vysshem obrazovanii: opyt, problemy i perspektivy razvitiya = Distance learning in higher education: experience, problems and development prospects. (St. Petersburg, April 20, 2021). Saint Petersburg: Publisher SPGUP; 2021: 153–156. (In Russ.)

22. Asaulenko Ye.V. Analysis of the development process of knowledge control methods from the position of the theory of black box. Pedagogicheskoye obrazovaniye v Rossii = Pedagogical education in Russia. 2016; 5: 41–46. (In Russ.)

23. Pinskaya M.A. Formiruyushcheye otsenivaniye: otsenivaniye v klasse: ucheb. Posobiye = Forming estimation: estimation in the classroom: studies. benefit. Moscow: Logos; 2010. 264 p. (In Russ.)

24. Bodon'i M.A. Foreign and domestic experience in using modern technologies in forming evaluation. Otechestvennaya i zarubezhnaya pedagogika = Patriotic and foreign pedagogy. 2020; 3(68): 78–95. (In Russ.)

Сведения об авторах

Дарья Александровна Бархатова

К.п.н., доцент

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

Эл. почта: darry@mail.ru

Анна Леонидовна Симонова

К.п.н., доцент

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

Эл. почта: simonova75@yandex.ru.ru

Павел Сергеевич Ломаско

К.п.н.

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

Эл.почта: pavel@lomasko.com

Людмила Борисовна Хегай

К.п.н., доцент

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

Эл.почта: hegail@yandex.ru

Information about the authors

Daria A. Barkhatova

Cand. Sci. (Pedagogical), Associate Professor

Krasnoyarsk State Pedagogical University named
after V.P. Astafyev,
Krasnoyarsk, Russia

E-mail: darry@mail.ru

Anna L. Simonova

Cand. Sci. (Pedagogical), Associate Professor

Krasnoyarsk State Pedagogical University named
after V.P. Astafyev,
Krasnoyarsk, Russia

E-mail: simonova75@yandex.ru.ru

Pavel S. Lomasko

Cand. Sci. (Pedagogical)

Krasnoyarsk State Pedagogical University named
after V.P. Astafyev,
Krasnoyarsk, Russia

E-mail: pavel@lomasko.com

Lyudmila B. Khgay

Cand. Sci. (Pedagogical), Associate Professor

Krasnoyarsk State Pedagogical University named
after V.P. Astafyev,
Krasnoyarsk, Russia

E-mail: hegail@yandex.ru

Разработка и применение программного инструмента для поддержки обучения формальным языкам

Цель статьи представить результаты исследования по возможности применения дедуктивного подхода в изучении языков программирования (от теории формальных языков к конкретным языкам программирования) и разработке обучающей системы для реализации этого подхода. Вопрос подготовки специалистов в области информационных технологий по-прежнему остается актуальным, а разнообразие языков программирования настолько велико, что далеко не всегда удастся угадать, какой из них будет востребован в профессиональной деятельности. По мнению авторов, применение указанного подхода позволит видеть общие элементы и находить синтаксические различия языков программирования, а следовательно, упростить и ускорить их освоение. В статье проанализированы методы обучения программированию, обоснована актуальность изучения формальных языков будущими ИТ-специалистами, сформулированы требования к программному инструменту для поддержки обучения формальным языкам, описана его реализация.

Материалы и методы: теория формальных языков, синтаксис и семантика языков программирования, лексический анализ, анализ различных источников информации по исследуемой тематике, систематизация собранных данных, технологии проектирования, реализации и тестирования программных продуктов, экспериментальные исследования.

Результаты. Предложена методика изучения языков программирования посредством формальных языков. Создана программная обучающая система, которая позволяет связать теорию формальных языков с языками высокого уровня за счёт соответствующих примеров. Разработан и реализован в указанной системе алгоритм проверки корректности выполнения задания посредством синтаксического анализа введенной обучающимся программы и имитации ее выполнения. Эксперименты показали целесообразность подхода и работоспособность программного продукта. В настоящее время разработанная система применяется в Вологодском государственном университете при преподавании дисциплин «Теория языков программирования и методы трансляции» и «Теория автоматов и формальных языков».

Заключение. Результаты исследования показывают приемлемость предложенного подхода и целесообразность применения разработанной программы при изучении языков программирования.

Ключевые слова: программный продукт, языки программирования, формальные языки, методы обучения программированию, алгоритм.

Anna P. Sergushicheva, Elena N. Davydova

Vologda State University, Vologda, Russia

Development and Application of a Software Tool to Support the Teaching of Formal Languages

The purpose of the article is to present the results of a study on the possibility of using a deductive approach in the study of programming languages (from the theory of formal languages to specific programming languages) and the development of a training system for implementing this approach. The issue of training specialists in the field of information technology is still relevant, and the variety of programming languages is so great that it is not always possible to guess which of them will be in demand in professional activities. According to the authors, the application of this approach will allow you to see common elements and find syntactic differences in programming languages, and therefore simplify and speed up their development. The article analyzes the methods of teaching programming, substantiates the relevance of learning formal languages by future IT specialists, formulates the requirements for a software tool to support learning formal languages, describes its implementation.

Materials and methods. Theory of formal languages, syntax and semantics of programming languages, lexical analysis, analysis of various sources of information on the subject under study, systematization of the collected data, technologies for designing, implementing and testing software products, experimental research.

Results. A methodology for learning programming languages through formal languages is proposed. A software training system has been created that allows you to link the theory of formal languages with high-level languages through appropriate examples. The algorithm of checking the correctness of the task execution by means of syntactic analysis of the program entered by the student and imitation of its execution is developed and implemented in the specified system. Experiments have shown the feasibility of the approach and the performance of the software product. Currently, the developed system is used at Vologda State University when teaching the disciplines "Theory of programming languages and translation methods" and "Theory of automata and formal languages".

Conclusion. The results of the study show the acceptability of the proposed approach and the expediency of using the developed program when learning programming languages.

Keywords: software product, programming languages, formal languages, methods of teaching programming, algorithm.

Введение

В настоящее время информационные технологии и программное обеспечение применяются практически во всех сферах деятельности человека. Возрастает потребность в соответствующих специалистах и в ответ на это высшие и средние профессиональные учебные заведения увеличивают прием абитуриентов по направлениям подготовки, связанным с созданием и применением программного обеспечения. Писать программы стало проще: языки программирования высокого уровня скрывают множество рутинных, но обязательных операций и позволяют почти на родном языке описать алгоритм работы системы. Более того, появилось множество инструментов и библиотек, посредством которых сравнительно легко собрать несложную программу с заданным функционалом. С другой стороны, увеличилась сложность и размер программных систем. Все чаще они наделяются элементами искусственного интеллекта: нас не устраивает просто выборка требуемых данных, надо, чтобы эти данные были проанализированы по ряду критериев, определены проблемы и предложены пути их решения. Как следствие, повысились требования к разработчикам таких систем. Приветствуется знание ими нескольких языков программирования. Вопросы обучения программированию, разработке методов и методик преподавания языков программирования посвящено значительное количество работ отечественных и зарубежных авторов, диссертационных исследований (например, работы [1–6]). Об актуальности проблемы говорит и наличие значительного количества Интернет-ресурсов, ей посвященных (например, работа [7]).

Все языки программирования относятся к группе фор-

мальных языков. Существует большое количество языков программирования, которые могут синтаксически значительно отличаться друг от друга. Каждый язык имеет свои особенности, так как создавался под решение определенного класса задач. При этом в основе всех языков программирования лежит единая математическая модель, называемая формальным языком. Формальный язык определяет множество семантических, синтаксических и лексических правил, отвечающих как за действия, которые выполнит компьютер или иной исполнитель, так и за внешний вид программ.

Авторы предлагают использовать подход от общего к частному: от изучения теории формальных языков — к изучению конкретных языков. Знание теории формальных языков позволит обучающемуся акцентировать внимание на особенностях конкретного языка и тем самым упростить и ускорить процесс его освоения. В статье описан опыт авторов по реализации и применению программного инструмента для поддержки обучения формальным языкам с автоматической проверкой правильности выполнения заданий по написанию кода в соответствии с предложенным алгоритмом. Наличие системы автоматической проверки корректности выполнения заданий позволяет использовать его при дистанционном обучении.

1. Методы обучения программированию

Метод обучения — это способ совместной деятельности учителя и обучающихся с целью усвоения последними предусмотренных содержанием обучения знаний, умений и навыков. Первичные знания по программированию в настоящее время обучающие-

ся получают уже в школе, как правило, в рамках информатики или информационных технологий. Существуют три наиболее распространенных подхода к преподаванию программирования [8]:

1) как теоретической дисциплины (без освоения конкретных языков и систем). Далеко не все нынешние школьники свяжут свою будущую профессию с разработкой программного обеспечения, но подавляющее большинство из них уже сегодня не однажды это программное обеспечение использовали (смартфоны, гаджеты, бытовая техника). И задача общеобразовательного курса — дать представление, о том, как это работает, выработать определенный стиль мышления, развить логику. Однако, с отказом от языка программирования теряется возможность использовать соответствующий инструментарий, труднее обосновать необходимость его использования, снижается мотивация к изучению дисциплины;

2) преподавание на основе специально разработанного языка (Школьник, Рапира, SMR, LOGO, Scratch и др.). Такие языки предельно упрощены и рассчитаны на возможности младших школьников. Их применение дает видимый результат (а успех открывает);

3) преподавание на основе одного или нескольких широко используемых языков программирования. Такой курс может стать базой для последующего профессионального изучения программирования. И здесь возникает проблема, какой язык выбрать. Он должен быть современным, универсальным и достаточно простым для освоения одновременно. Однако, все языки программирования разрабатывались для решения конкретных задач и каждый из них ориентирован на определенную область применения, большинство их реализаций

перегружено техническими деталями и сложны в изучении.

Существуют различные классификации методов обучения. Так, по способу передачи информации их можно разделить на словесные, наглядные и практические. К словесным относятся лекция, рассказ, беседа, работа с книгой, консультация, дискуссия. Их целью является доведение актуальной информации по определённой дисциплине до обучающегося [9]. Процесс формирования умений, навыков и знаний здесь осуществляется путём рефлексии, усвоения и запоминания информации. Наглядные методы предполагают использование дополнительных инструментов (иллюстраций, схем, таблиц, моделей, технических приспособлений, видео- и аудиоматериалов), прямо или косвенно отражающих предмет изучения [10]. Практические методы основаны на вовлечении аудитории в учебный процесс: познавательные игры, упражнения, тренинги, практические задания и т.п. По логике изложения материала методы делят на дедуктивные и индуктивные; по характеру учебной деятельности — на исследовательские, проблемные и т.д.

При изучении языков программирования можно применять практически все перечисленные выше методы, как по отдельности, так и в различных сочетаниях. Проблема может заключаться лишь в отсутствии соответствующей методики. Традиционная методика предполагает, что после теоретического изучения алфавита и базовых конструкций языка переходят к решению простейших задач, и далее постепенно, по мере приобретения навыков в составлении программ, задачи усложняются.

Разработке методик применения известных методов к обучению программированию и разработке новых методов посвящены ряд научных статей и диссертаций.

Например, в работе [11] исследуется возможность применения кейс-метода в лабораторных занятиях по дисциплине «Информатика». Метод предполагает наличие модели некоторой социально-экономической системы. В системе конечно же есть проблемы, которые можно разрешить, если создать и внедрить соответствующее программное обеспечение. Определяется цель разработки. Преподаватель должен заранее продумать, как он будет направлять обучающихся к выбору этой единой цели, и позаботиться о наличии нескольких альтернативных путей достижения поставленной цели. Анализ конкретных ситуаций, выработка решений, их оценка — работа коллективная. Ситуация, используемая на занятии, не должна быть перегружена лишней информацией, отвлекающей внимание от решаемой проблемы. Студентам предлагается проанализировать ситуацию, построить модель, найти различные варианты решения и выбрать из них оптимальное по ряду критериев. Определяется структура представления данных и их типы, эффективность используемых алгоритмов. Автор статьи приводит примеры ситуационного анализа и последующего написания программ в средах программирования Delphi и MatLab. Программное обеспечение, созданное в разных средах, также рассматривается как альтернативное.

Идея метода проектов состоит в том, что обучающийся в приобретении знаний не ограничивается знакомством с мировыми достижениями, а на основании собственного опыта приходит к известным заключениям. Любой учебный предмет должен быть связан с какой-нибудь жизненной ситуацией, таким образом, чтобы студент смог увидеть область приложения своих знаний [12–13]. Использование метода проектов в процессе обучения

программированию естественно (создание любой программы осуществляется через проектирование и реализацию) и позволяет приблизить обучающегося к научно-исследовательской и практико-ориентированной деятельности. Выбор темы проекта — не проблема: сегодня программное обеспечение востребовано почти во всех отраслях деятельности человека. Проект может быть достаточно объёмным, обладать высоким уровнем системности и разрабатываться коллективно (группами программистов). Жемчужников Д.Г. в своей диссертации [14] исследует возможность применения в качестве сквозных проектных задач разработку динамических компьютерных игр. Создавать игру гораздо интереснее, чем реализовывать однотипные вычислительные алгоритмы.

Участие в проектной деятельности позволяет обучающимся приобрести уникальный опыт, невозможный при других формах обучения. Метод обладает высоким мотивационным потенциалом и позволяет развить самостоятельность и творческие способности. К недостаткам метода можно отнести слабую разработанность его теоретических положений, процессуально-результативной технологической базы; сложность достижения запланированных результатов обучения, систематичности и фундаментальности знаний; повышенные требования к преподавателю — организатору и руководителю проекта.

Значительной части этих недостатков лишен метод открытых программ [15]. Под открытой программой понимается написанная на изучаемом языке модель, представляющая некоторый класс программ и предназначенная для передачи обучающимся знаний об операторах, синтаксисе, логике, структуре и назначении программ своего класса. Модель должна быть работаю-

щей, сопровождаться подробными комментариями и быть доступной для модификации. Целью обучения может быть изучение структуры программы, результатов и алгоритма ее работы (в том числе и посредством запуска программы на исполнение), документирование логики алгоритма, поиск и исправление ошибок. В зависимости от учебных целей она может содержать пропуски, которые следует заполнить соответствующим кодом (естественно, что возможно несколько вариантов кода), ошибки, которые необходимо найти и устранить.

Школьникам можно предложить игровой метод обучения программированию: задачи вычислительного типа обычно для учащихся не представляют интереса и воспринимаются ими как повинность. Разработаны и применяются ряд компьютерных игр, в ходе которых создается программа для управления поведением какого-либо объекта. Например, игра Game Maker содержит набор игровых объектов, поведение которых задается путём программирования реакции на события. Для представления программ используют графические блоки (подобно элементам блок-схем) в режиме drag-n-drop или скриптовый язык GML, похожий на JavaScript. В фокусе игры ПиктоМир — космодром, с которого стартуют космические корабли, и при старте они выжигают покрытие. Для ремонта покрытия посылают робота-вертуна. Необходимо задать роботу такую программу, чтобы он всё выгоревшее залил защитным составом и при этом сам не разбился о бордюрчик. В 3d-стратегии Колобот игра заключается в написании программ для роботов, которые должны подготовить планеты для заселения и добычи полезных ископаемых. Заставляя роботов выполнять задание, дети учатся составлять алгоритмы.

Таким образом, можно сделать вывод, что разнообразие методов обучения программированию достаточно велико и что изучение программирования в большинстве случаев осуществляется через освоение какого-либо языка программирования и соответствующей среды программирования. Авторы статьи считают перспективным и другое направление: от изучения теории формальных языков — к конкретным языкам.

2. Актуальность изучения формальных языков будущими ИТ-специалистами

Обычные разговорные языки считают естественными. С развитием науки, техники, искусств возникли языки искусственные, предназначенные для решения различных классов задач в некоторой предметной области: язык математики, дорожных знаков, нотная грамота и другие. Язык, характеризующийся точными правилами построения и трактовки выражений, назвали формализованным (или формальным). Формальный язык однозначен: четко сформулированные правила семантической интерпретации и синтаксического преобразования используемых знаков обеспечивают независимость его инструкций и результата выполнения этих инструкций от каких-либо прагматических обстоятельств (например, от контекста). Формальные языки широко применяются в науке и технике в тесной взаимосвязи с естественным языком.

Элементами естественного языка являются звуки речи, морфемы (части слова), слова, предложения. Звуки образуют фонетический уровень языка, морфемы — морфемный, слова и фразеологизмы — лексический, словосочетания и предложения — синтаксический. **Лексемы** выполняют номинативную функцию (называют

вещи и явления действительности) и считаются основными единицами языка. На лексическом уровне наиболее полно представлена семантика — раздел лингвистики, изучающий смысловое значение единиц языка [16–17].

Закономерности построения правильных осмысленных речевых отрезков на данном языке задача грамматики. Чтобы определить грамматику, требуется задать алфавиты терминальных и нетерминальных символов, набор правил вывода, а также выделить в множестве нетерминалов начальный. Словами языка, заданного грамматикой, являются все последовательности терминалов, выводимые (порождаемые) из начального нетерминала по правилам вывода. Теория формальных языков базируется на идее порождающих грамматик Н. Хомского для естественных языков. Эта идея получила значительное развитие в области разработки языков программирования.

Программы состоят из синтаксических конструкций, называемых командами (операторами, указаниями, предложениями). Команды строятся из *лексем* — неделимых элементов языка: слов, цифр, символов операций и тому подобное. Слова делятся на служебные, стандартные имена и идентификаторы, которые пользователь дает разным объектам. Набор правил, описывающий комбинации символов алфавита, считающиеся правильно структурированной программой или её фрагментом называется синтаксисом языка программирования. Семантика приписывает значения (действия) различным синтаксическим конструкциям. Практически во всех языках программирования присутствуют следующие конструкции:

1. конструкции для задания констант или переменных;
2. конструкции для ввода и вывода данных;

3. условные конструкции (ветвления);

4. конструкции циклов;

5. конструкции для создания функций и/или методов.

Предложенная Дж.Бэкусом и П.Науром форма определения синтаксиса языков (БНФ — Бэкуса-Наура форма, РБНФ — расширенная форма Бэкуса-Наура) позволила дать формальное описание синтаксических конструкций языка и формализовать методы синтаксического анализа при проектировании компиляторов. Синтаксис обычно проверяется на ранних стадиях трансляции, а при использовании IDE это возможно непосредственно при редактировании исходных текстов программ. В настоящее время методы и алгоритмы из теории формальных языков и грамматик широко используются при проектировании инструментов анализа и трансляции языков разметки документов и гипертекста, языков описания интерфейсов и языков спецификаций, языков описания аппаратуры, языков описания распределённых систем и коммуникационных протоколов и т.п.

Поэтому изучение теории формальных языков будущими разработчиками программного обеспечения даёт им представление об общих элементах и конструкциях языков, а также правилах их построения и описания. В результате, освоение первого и последующих языков программирования сводится к выявлению их лексических и семантических особенностей, а сам механизм работы языка обучающемуся будет известен. Это способствует расширению списка языков и инструментов, которыми владеет программист, увеличению сложности и разнообразия решаемых им задач и позволяет при необходимости ускорить переход с одного языка на другой при выполнении проекта. Также ожидается сокращение числа ошибок, вызванных не-

пониманием работы того или иного элемента. Дополнительно, изучение формальных языков помогает получить базовое представление о работе компиляторов, трансляторов, интерпретаторов.

3. Программный инструмент для поддержки обучения формальным языкам

При разработке программного инструмента для поддержки обучения формальным языкам были выдвинуты следующие требования:

- реализация функций предъявления учебных материалов и разбора примеров практических заданий для каждой формальной конструкции, выдачи заданий для самостоятельной работы и автоматической проверки решений;

- запись формальных конструкций должна осуществляться в нотации Бэкуса-Наура;

- задачи, даваемые обучающимся, должны строиться на основе формальных конструкций, а для реализации их решения система должна поддерживать минимум два синтаксически различных языка программирования;

- программный продукт должен позволять загружать и сохранять решения заданий в файлах формата txt;

- наличие возможности запуска продукта на любой ОС (кроссплатформенность решения).

Для реализации программы использованы следующие языки и инструменты: язык программирования Java (позволяет обеспечить кроссплатформенность приложения), среда разработки — IntelliJ Idea 2019.3.4, средство разработки интерфейса JavaFX, легковесная база данных Java с открытым исходным кодом H2, средство контроля версий Git, средство статического анализа кода SonarQube, средство документации кода JavaDoc.

В состав программы вошли модуль навигации, модуль предъявления учебных материалов, модуль практикум, база данных, интерпретатор программы.

Модуль навигации обеспечивает переход со стартовой страницы к конкретному разделу и обратно и перемещения между разными страницами выбранного учебного модуля. Он реализован посредством классов Navigation (отвечает за навигацию, загрузку контента, его отображение, переходы между страницами), Controller (осуществляет передачу управления соответствующей странице), Module представляет информацию о конкретном модуле).

Модуль предъявления учебных материалов направлен на теоретическое освоение курса «Теория формальных языков». Теоретический материал по этой дисциплине разбит на разделы: основные понятия; простые, условные и циклические конструкции; лексический, синтаксический и семантический анализ, интерпретация программ. Рекомендуется последовательное изучение тем, однако навигация по разделам свободная: теорию можно почерпнуть и в других источниках, в этом случае к теории можно обращаться в произвольном порядке при возникновении затруднений в решении задач.

Модуль практикум может быть вызван из разделов лексического, синтаксического, семантического анализа и интерпретации программ. Предыдущие учебные модули разъясняют базовые понятия формальных языков. В их числе алфавит (совокупность исходных символов, из которых будут строиться все выражения языка), грамматика (свод правил, определяющих правильность построения предложений языка и смысловую правильность предложений), правила описания грамматики

языка (наибольшее распространение получили БНФ и РБНФ) и типовые конструкции языка (присваивание, чтение, запись, ветвление и множественное повторение ряда действий). И авторы считают, что здесь достаточно ограничиться рассмотрением примеров. Страница с примером состоит из 2 частей: верхней, где отображается пример на РБНФ (рис. 1), и нижней, где пользователь может увидеть аналог этого же описания для выбранного языка программирования.

По остальным разделам в программе также предусмотрено наличие двух видов заданий: 1) задания с фиксированным правильным ответом и 2) задания требующие проверки корректности выполнения.

В первом случае ответ полностью берётся из поля с ответом в соответствующей таблице базы данных. Если проверка на соответствие с ним введённого обучающимся варианта ответа пройдена успешно, пользователю отображается результат. В противном случае после анализа ответа выводится информация о найденном несоответствии.

В втором случае, как правило, существует несколько решений поставленной задачи. Например, сравнительно простая задача, представленная на рис. 2, может быть решена посредством любого из итерационных конструктивов. Для таких ситуаций требуется производить анализ и интерпретацию программы. Анализ начинается с проверки корректности формата: необходимо убедиться, что пользователь ввёл решение в формате, который сможет интерпретировать программа. В данном случае, неверным форматом будет написание кода вне метода Main, а некорректным с точки зрения задания является решение, где пользователь выводит на экран числа от 1 до 5 в обход циклических конструкций.

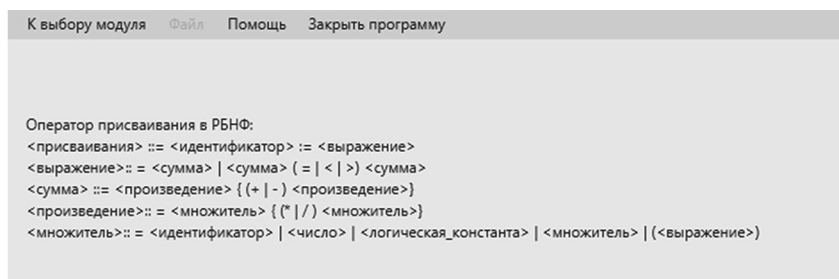


Рис. 1. Верхняя часть страницы с примером

Fig. 1. The upper part of the page with an example

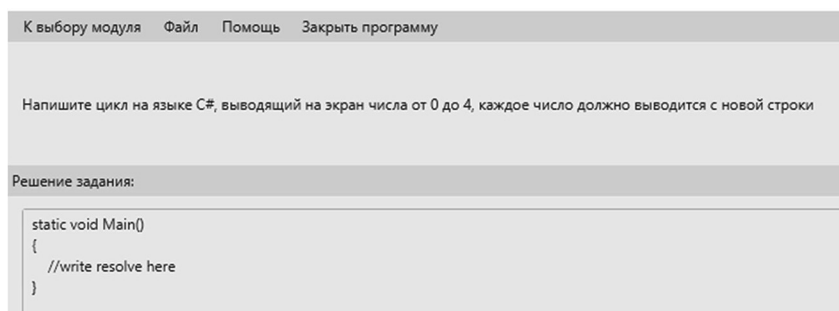


Рис. 2. Страница с примером задания

Fig. 2. A page with an example of the task

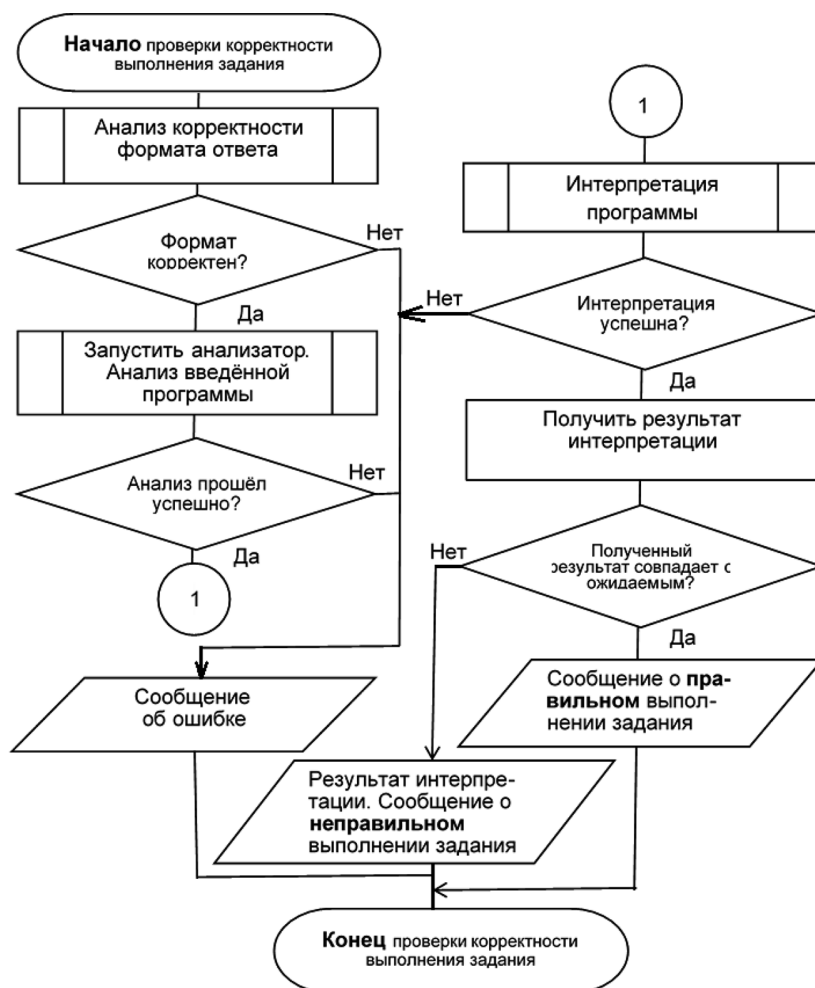


Рис. 3. Алгоритм проверки корректности выполнения задания

Fig. 3. Algorithm for checking the correctness of the task

Правильный ответ для задания также лежит в поле с ответом базы данных, но определяется он на основе метаданных, в данном случае показывающей, что требуется интерпретация программы на языке C#. Соответственно, вызывается анализатор C#, который осуществляет лексический, синтаксический и семантический анализ решения. После интерпретации программы анализируется результат ее выполнения: он должен точно совпадать с тем, что приведён в базе данных. Алгоритм анализа введенной в качестве ответа на задание программы приведен на рис. 3.

Интерпретатор программы реализует выполнение написанных обучающимися программ посредством запуска аналогичных конструкций в языке Java. В данной версии реализована интерпретация с языков Python и C#.

Для хранения информации было решено применить **базу данных H2** [18]. Она поддерживает синтаксис SQL, написана на Java, является открытым ресурсом (к ней можно подключиться используя JDBC API). Для взаимодействия с базой данных используется объектно-ориентированный запрос в Java. База данных включает следующие таблицы:

— **MODULE_TYPES** — типы учебных модулей. Каждая кнопка на стартовой странице ведёт к открытию модуля определённого типа. Таблица **MODULE** содержит описание контента модулей, а таблица **MODULE_PAGES** — страниц модуля. При этом возможный тип страницы задаётся в таблице **PAGE_TYPE**: теория, пример, задание с выбором варианта ответа и задание с вводом ответа обучающимся;

— **PRIMER**. Каждый пример содержит описание языковой конструкции в разных нотациях (пока в РБНФ, Python и C#) и связан с конкретной страницей конкретного учебного модуля;

— **TASK**. Показывает тип задания и его связь с учебным модулем. Возможные типы заданий приведены в таблице **TASK_TYPE**. Это — задание с единичным или множественным выбором правильного ответа и задание, требующее от пользователя написание кода в качестве ответа. Описание заданий заносится в таблицы **TEST_TASK** и **ANSWER_TASK** соответственно;

— **LEXICL_TASK** и **LEXEMES** содержат информацию, необходимую для лексического анализа введенной обучающимся программы.

Обучающимся доступен пункт меню «Помощь», который включает список всех элементов управления и подробное руководство по работе с продуктом

4. Методика применения программы для изучения формальных языков

Начинаем с изучения теории формальных языков. Один из лучших способов знакомства с теорией — прослушать соответствующие лекции: преподаватель даёт хорошо систематизированный материал, расставляет акценты на важных моментах, отвечает на возникшие вопросы. Кроме того, обучающийся получает список литературы, в которой он может почерпнуть дополнительную информацию. Не исключается и самостоятельный поиск и анализ источников информации, в том числе и на просторах Интернета. В лекционном курсе обязательно должны быть представлены примеры применения теории формальных языков к конкретным языкам программирования (от общего к частному). Выбор языка программирования (не исключительно Python и C#, реализованные в программе) осуществляется преподавателем и может зависеть от контингента обучающихся. Теоретический материал также

входит в контент разработанной программы.

Следующий шаг — знакомство с инструментом. Простой, интуитивно-понятный пользовательский интерфейс позволяет студентам самостоятельно разобраться с функциональностью программы. При этом можно воспользоваться пунктом меню «Помощь». Он содержит два подпункта: «Инструкция» (подробное руководство по работе с продуктом) и «Навигация» (включает список всех элементов управления), каждый из которых открывается в модальном окне поверх основного приложения. Дополнительно справочная информация поставляется в архиве с программным продуктом в виде файла txt. Также информацию по работе с программой предоставляет педагог в методических указаниях к выполнению лабораторных и/или практических работ.

Теперь можно переходить к выполнению заданий. Решение задачи вводится студентом вручную в специально предназначенное для этого поле программы. Есть возможность загрузки решения из файлов. В случае затруднений всегда можно обратиться к теоретическому материалу и приведенным примерам. Проверка корректности выполнения задания инициируется нажатием кнопки «Проверить». Решение можно сохранить в файл. Правильное решение полностью или частично включается в отчёт по работе. Если решение оказалось некорректным, студент выполняет работу над ошибками. В результате автоматизации проверки решения обучающийся получает быструю обратную связь, а преподаватель — сэкономленное время.

В заключение необходимо оформить и защитить отчет по выполненной работе. Окончательная проверка знаний обучающихся проходит в форме,

предусмотренной рабочей программой дисциплины: в виде зачёта или экзамена.

Заключение

Таким образом, в результате исследования:

- предложена методика изучения языков программирования посредством формальных языков;
- создана программная обучающая система, которая по-

зволяет обучающемуся связать теорию формальных языков с языками высокого уровня за счёт соответствующих примеров;

— разработан и реализован в указанной системе алгоритм проверки корректности выполнения задания посредством синтаксического анализа введенной обучающимся программы и имитации ее выполнения.

Эксперименты показали приемлемость предложенного

подхода, работоспособность разработанного программного инструмента и целесообразность его использования при изучении языков программирования. В настоящее время созданная система применяется в Вологодском государственном университете при преподавании дисциплин “Теория языков программирования и методы трансляции” и “Теория автоматов и формальных языков”.

Литература

1. Шефер О.Р., Носова Л.С., Лебедева Т.Н. Современная методология изучения программирования в вузе // Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. 2018. № 5. С. 6–12.
2. Баженова И.В., Пак Н.И. Разработка электронного учебника-трансформера при обучении программированию на основе самопознавательной деятельности студента // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. 2019. № 1(47). С. 20–28.
3. Моглан Д.В. Дидактический потенциал использования систем визуализации алгоритмов в процессе обучения программированию // Открытое образование. 2019. Т. 23. № 2. С. 31–41.
4. Шарипов Ф.Ф., Мараджабов С.И. Теоретическая модель формирования алгоритмического мышления студентов вузов в процессе обучения объектно-ориентированному программированию // Балтийский гуманитарный журнал. 2017. Т. 6. № 3(20). С. 313–316.
5. Шкарбан Ф.В. Методика обучения основам объектно-ориентированного программирования бакалавров прикладной информатики с использованием визуальных учебных сред: диссертация кандидата педагогических наук: 13.00.02. Волгоград, 2018. 212 с.
6. Касьянов В.Н., Касьянова Е.В. Методы и средства обучения программированию в вузе // Информатика: проблемы, методы, технологии: материалы XX международной научно-методической конференции. 2020. С. 1989–1998.
7. Самбо Е. Какие языки программирования учить в 2021 (для начинающих) [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://videoinfographica.com/programming-languages/>.
8. Милова Е.А. Методика обучения программированию [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://pandia.ru/text/79/134/22349.php>.
9. Педагогика. Урок 4: традиционные методы обучения [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://4brain.ru/pedagogika/new-methods.php>.
10. Методы обучения: понятие, виды и классификация в педагогике [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://nauka.club/podsovet/metody-obucheniya.html>.
11. Юрьева Т.А., Чалкина Н.А., Лебедь О.А. Применение кейс-метода в обучении бакалавров основам программирования // Педагогические науки. 2016. № 7. С. 78–82.
12. Слинкин Д.А. Использование метода проектов при обучении программированию в курсе информатики: диссертация кандидата педагогических наук: 13.00.02. Екатеринбург, 2001. 166 с.
13. Лебедева Т.Н. Метод проектов в обучении студентов // Актуальные проблемы развития среднего и высшего образования: XV межвузовский сборник научных трудов. Челябинск, 2019. С. 204–207.
14. Жемчужников Д.Г. Методика обучения программированию, основанная на создании школьниками динамических компьютерных игр: диссертация кандидата педагогических наук: 13.00.02. Москва, 2013. 230 с.
15. Сидорик В.В., Костина Е.Н. Метод открытых программ в изучении программирования // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 11-й международной научно-технической конференции. Минск: БНТУ, 2013. Т. 4. С. 268.
16. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. М.: Наука, 1973. 368 с.
17. Лаздин А.В. Формальные языки, грамматики, автоматы. СПб.: Университет ИТМО, 2019. 99 с.
18. H2 Database Engine [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <https://www.h2database.com/html/main.html>.

References

1. Shefer O.R., Nosova L.S., Lebedeva T.N. Modern methodology for studying programming at a university. Nauchno-tekhnicheskaya informatsiya. Seriya 1: Organizatsiya i metodika informatsionnoy raboty = Scientific and technical information. Series 1: Organization and methodology of information work. 2018; 5: 6-12. (In Russ.)
2. Bazhenova I.V., Pak N.I. Development of an electronic textbook-transformer for teaching programming based on the student's self-cognitive activity. Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya: Informatika i informatizatsiya obrazovaniya = Bulletin of the Moscow City Pedagogical University. Series: Informatics and informatization of education. 2019; 1(47): 20-28. (In Russ.)
3. Moglan D.V. Didactic potential of using algorithms visualization systems in the process of teaching programming. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2019; 23; 2: 31-41. (In Russ.)
4. Sharipov F.F., Maradzhbov S.I. A theoretical model of the formation of algorithmic thinking of university students in the process of teaching object-oriented programming. Baltiyskiy gumanitarnyy zhurnal = Baltic Humanitarian Journal. 2017; 6; 3(20): 313-316. (In Russ.)
5. Shkarban F.V. Metodika obucheniya osnovam ob'yektno-oriyentirovannogo programmirovaniya bakalavrov prikladnoy informatiki s ispol'zovaniyem vizual'nykh uchebnykh sred: dissertatsiya kandidata pedagogicheskikh nauk = Methods of teaching the basics of object-oriented programming for bachelors of applied informatics using visual learning environments: dissertation of the candidate of pedagogical sciences: 13.00.02. Volgograd; 2018. 212 p. (In Russ.)
6. Kas'yanov V.N., Kas'yanova Ye.V. Methods and means of teaching programming at the university. Informatika: problemy, metody, tekhnologii: materialy XX mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii = Informatics: problems, methods, technologies: materials of the XX international scientific and methodological conference. 2020: 1989-1998. (In Russ.)
7. Sambo Ye. Kakiye yazyki programmirovaniya učit' v 2021 (dlya nachinayushchikh) = What programming languages to learn in 2021 (for beginners) [Internet]. Available from: <https://videoinfographica.com/programming-languages/>. (In Russ.)
8. Milova Ye.A. Metodika obucheniya programmirovaniyu = Programming teaching method [Internet]. Available from: <https://pandia.ru/text/79/134/22349.php>. (In Russ.)
9. Pedagogika. Urok 4: traditsionnyye metody obucheniya = Pedagogy. Lesson 4: Traditional Teaching Methods [Internet]. Available from: <https://4brain.ru/pedagogika/new-methods.php>. (In Russ.)
10. Metody obucheniya: ponyatiye, vidy i klassifikatsiya v pedagogike = Teaching methods: concept, types and classification in pedagogy [Internet]. Available from: <https://nauka.club/podsovet/metody-obucheniya.html>. (In Russ.)
11. Yur'yeva T.A., Chalkina N.A., Lebed' O.A. Application of the case method in teaching bachelors the basics of programming. Pedagogicheskiye nauki = Pedagogical sciences. 2016; 7: 78-82. (In Russ.)
12. Slinkin D.A. Ispol'zovaniye metoda proyektov pri obuchenii programmirovaniyu v kurse informatiki: dissertatsiya kandidata pedagogicheskikh nauk = Using the project method in teaching programming in the course of computer science: dissertation of the candidate of pedagogical sciences: 13.00.02. Yekaterinburg; 2001 166 p. (In Russ.)
13. Lebedeva T.N. The method of projects in teaching students. Aktual'nyye problemy razvitiya srednego i vysshego obrazovaniya: XV mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov = Actual problems of the development of secondary and higher education: XV interuniversity collection of scientific papers. Chelyabinsk; 2019: 204-207. (In Russ.)
14. Zhemchuzhnikov D.G. Metodika obucheniya programmirovaniyu, osnovannaya na sozdaniikh shkol'nikami dinamicheskikh komp'yuternykh igr: dissertatsiya kandidata pedagogicheskikh nauk = Methodology of teaching programming based on the creation of dynamic computer games by schoolchildren: dissertation of the candidate of pedagogical sciences: 13.00.02. Moscow; 2013. 230 p. (In Russ.)
15. Sidorik V.V., Kostina Ye.N. The method of open programs in the study of programming. Nauka – obrazovaniyu, proizvodstvu, ekonomike: materialy 11-y mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii = Science - education, production, economics: materials of the 11th international scientific and technical conference. Minsk: BNTU; 2013; 4: 268. (In Russ.)
16. Gladkiy A.V. Formal'nyye grammatiki i yazyki = Formal grammars and languages. Moscow: Nauka; 1973. 368 p. (In Russ.)
17. Lazdin A.V. Formal'nyye yazyki, grammatiki, avtomaty = Formal languages, grammars, automata. Saint Petersburg: ITMO University; 2019. 99 p. (In Russ.)
18. H2 Database Engine [Internet]. Available from: <https://www.h2database.com/html/main.html>.

Сведения об авторах

Анна Павловна Сергушичева

*К.т.н., доцент кафедры автоматики
и вычислительной техники
Вологодский государственный университет,
Вологда, Россия
Эл. почта: annpas@list.ru*

Елена Николаевна Давыдова

*К.т.н., доцент кафедры автоматики и
вычислительной техники
Вологодский государственный университет,
Вологда, Россия
Эл. почта: Davidova_EN@mail.ru*

Information about the authors

Anna P. Sergushicheva

*Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the
Department of automation and computer engineering
Vologda State University,
Vologda, Russia
E-mail: annpas@list.ru*

Elena N. Davydova

*Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the
Department of automation and computer engineering
Vologda State University,
Vologda, Russia
E-mail: Davidova_EN@mail.ru*

Методика разработки электронных задач-тренажеров для формирования компетенции решения математических задач

Цель исследования. В эпоху четвертой промышленной революции высококвалифицированные кадры являются важным фактором роста экономики, что накладывает серьезные требования к сформированности ключевых и предметных компетенций у выпускников высших учебных заведений. При этом математическая компетенция, необходимая для решения передовых и наукоемких задач, играет особенно важную роль. Учитывая увеличение доли электронного и дистанционного обучения в вузе, необходимо усиленно развивать методику формирования математической компетенции в электронной среде и создавать на ее основе эффективные инструменты обучения. Текущий уровень цифровизации образования уже позволяет достаточно качественно реализовывать самостоятельную работу студентов в электронной среде. В литературе довольно широко представлены различные методы и инструменты, направленные на формирование когнитивного компонента компетенций, однако вопрос формирования прагматического компонента в электронной среде пока слабо изучен. Целью данного исследования является разработка методики создания электронных задач-тренажеров, позволяющей формировать практический компонент математической компетенции — компетенцию решения математических задач.

Материалы и методы. В качестве методологической базы исследования выступил сравнительно-сопоставительный анализ научно-методической литературы, нормативно-методических документов, профессиональных и федеральных образовательных стандартов высшего образования. Разработка модели электронной задачи-тренажера проводилась методами структурного моделирования. Апробация предложенной методики и подтверждение её результативности происходили в ходе педагогического эксперимента с использованием методов статистического анализа.

Результаты. Предложена методика разработки электронных задач-тренажеров для формирования компетенции решения математических задач, основанная на существующих подходах

к формализации принципов решения задач. В представленной структурной модели электронной задачи-тренажера аспекты решения задачи, которые были выявлены ранее другими авторами, дополнены контекстным аспектом. Он позволяет связать задачу с изучаемым в настоящий момент теоретическим материалом и, по возможности, будущей профессиональной деятельностью студента. Предложенная методология организации обратной связи в задаче-тренажере за счет элементов тьюторинга способствует формированию у студентов метакогнитивных навыков.

Заключение. На основе предложенной методики разработаны 8 электронных задач-тренажеров для курса «Теория вероятностей и математическая статистика», которые были апробированы в учебном процессе Сибирского федерального университета. Оценка эффективности использования задач-тренажеров для формирования компетенции решения математических задач производилась в ходе педагогического эксперимента. Целью эксперимента было исследовать влияние задач-тренажеров на сформированность компетенции решения математических задач по соответствующим темам курса. На основе критерия Стьюдента для независимых выборок и критерия Манна-Уитни было подтверждено, что применение задач-тренажеров, разработанных на основе предложенной методики, позволяет повысить эффективность формирования прагматического компонента математической компетенции. В перспективе предложенную методику можно включить в комплекс средств обучения для формирования математической компетенции в электронной среде.

Ключевые слова: математическая компетенция, компетенция решения математических задач, формализация решения математических задач, электронная задача-тренажер, структурная модель, обратная связь, педагогический эксперимент, электронное обучение.

Tatiana A. Kustitskaya, Roman V. Esin

School of Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk

Design Methodology for Electronic Training Problems Aimed at Development of Mathematical Problems Solving Competence

The aim of the study. The fourth industrial revolution demands highly qualified personnel as important factor of economic growth, which imposes serious requirements on the formation of key and subject competencies among graduates of higher educational institutions. A particularly important role is assigned to the mathematical competence which is required to solve complex and science-intensive problems. Given the growing share of e-learning and distance learning at the university, it is necessary to intensively develop the methodology for mathematical competence formation in the electronic environment, and create effective teaching tools on its basis. The current level of digitalization of education already allows organizing independent work of students in the electronic environment at a sufficiently high level. In the literature we can find various methods and tools,

aimed at the formation of the cognitive component of competencies. However, the issue of skills' development in the electronic environment is still underrepresented. The purpose of this study is to develop a methodology for creating electronic training problems, which aims at forming a practical component of mathematical competence — the competency of solving mathematical problems.

Materials and methods. In the study we performed a comparative analysis of scientific and methodological literature, regulatory and methodological documents, as well as professional and federal educational standards of higher education. The development of a model of electronic training problems was carried out using methods of structural modeling. The developed methodology was implemented in the educational process, and the confirmation of its effectiveness

was obtained by statistical analysis of the results of the pedagogical experiment.

Results. We proposed a methodology for electronic training problems development aimed at formation of mathematical problems solving competency. The methodology is based on existing approaches to problem solving formalization. In the presented structural model of an electronic training problem, the aspects of problem solving discovered earlier by other authors, are supplemented by the contextual aspect. This aspect is intended for linking the regarded problem with the material, studied at the moment and, if possible, with future professional activity of a student. The proposed methodology for organizing feedback in an electronic training problem contributes to the formation of metacognitive skills among students through the elements of tutoring.

Conclusion. On the basis of the proposed methodology, 8 electronic training problems were developed for the course "Probability and Mathematical Statistics" and tested in the educational process of the

Siberian Federal University. The effectiveness of the electronic training problems for the development of mathematical problems solving competency was assessed in the course of a pedagogical experiment. The purpose of the experiment was to study the impact of the electronic training problems in the competency formation for particular topics of the course. Using student's test for independent samples and the Mann-Whitney test we confirmed that the designed electronic training problems positively affect the formation of mathematical problems solving competency. In the future, the proposed methodology can be included in the teaching toolkit for the formation of mathematical competence in an electronic environment.

Keywords: mathematical competence, mathematical problems solving competency, formalization of mathematical problems solving, electronic training problem, structural model, feedback, pedagogical experiment, e-learning.

Введение

Цифровизация мышления и четвёртая промышленная революция стремительно меняют все сферы деятельности человечества, что рождает новые вызовы и задачи, которые необходимо решать. Цифровые двойники, искусственный интеллект, большие данные — все это стало частью текущей реальности и применяется в трансформации экономики и промышленности страны. Для того, чтобы не отстать в быстро меняющемся информационном пространстве современные специалисты должны быть хорошо подготовлены в фундаментальных науках, лежащих в основе технологий новой промышленной революции. Так, поиск возможных решений в области задач создания цифровых двойников, развития технологий искусственного интеллекта и анализа больших данных невозможен без высокого уровня сформированности математической компетентности у выпускников вуза.

Математическое образование является фундаментальным, что отчасти определяется универсальностью математических методов, используемых во всех видах профессиональной деятельности специалистов различных направлений: научно-исследовательской, производственно-технологической, конструкторской, организационно-управленческой и педагогической [1]. Направления

развития математической подготовки в высшей школе, заложенные в Концепции развития математического образования в РФ, нашли свое отражение как в обновленных федеральных образовательных стандартах, так и в профессиональных стандартах. Особенно важным становится формирование математической компетентности, так как она является основой для решения существующих научных проблем, и поэтому отражена в профессиональных стандартах через формулировки трудовых действий, необходимых умений и знаний. В качестве примера в табл. 1 приведены некоторые выдержки из профессиональных стандартов инженеров, связанные с математической компетентностью.

Международные стандарты подготовки инженеров также отмечают важность математической компетентности. Например, международная инициатива CDIO в 2020 году пересмотрела существующие стандарты для ориентации подготовки выпускников, и к существующим основным двенадцати стандартам добавила еще четыре, отражающие тренды развития инженерного образования. В частности, был добавлен стандарт «Математика и моделирование» [2], что в очередной раз доказывает актуальность формирования математической компетентности у современных выпускников. Также Международным инженерным альянсом опреде-

ляются ключевые результаты обучения выпускников, которые должны формироваться в процессе обучения. Одним из таких ключевых результатов становится способность проводить исследования для решения комплексных инженерных задач с использованием математических методов [3].

Современный уровень цифровизации образования уже позволяет частично формировать компетенции средствами электронной среды не только в рамках контактной работы со студентами, но и в рамках самостоятельной работы. В отечественной и зарубежной литературе существует множество работ, в которых описывается успешная методика разработки учебных курсов/элементов для передачи знаниевого компонента (теоретического материала) обучения [4–6]. В настоящее время существуют отдельные способы формирования праксиологического компонента компетенций (умений и навыков) для технических направлений обучения, но пока слабо изучен вопрос их формирования в электронной среде. Поэтому важной задачей специалистов в области электронных образовательных технологий становится разработка инновационных методик формирования умений и навыков посредством электронного обучения.

Отметим, что в области электронного обучения математике прослеживается явное противоречие между существующими

Обзор профессиональных стандартов

Table 1

Overview of professional standards

Профессиональный стандарт	Формулировки необходимых умений	Формулировки необходимых знаний
06.001 Программист	– использовать методы и приемы формализации задач; – использовать методы и приемы алгоритмизации поставленных задач; – применять стандартные алгоритмы в соответствующих областях.	– методы и приемы формализации задач; – алгоритмы решения типовых задач, области и способы их применения.
06.003 Архитектор программно-го обеспечения	– описывать и использовать математические методы; – проводить исследования и анализ.	– математические методы, в том числе допущения и ограничения.
06.022 Системный аналитик	– применять формальную логику для анализа и построения высказываний.	– основы формальной логики.
06.028 Системный программист	– оценивать вычислительную сложность алгоритмов функционирования разрабатываемых программных продуктов.	– основы применения теории алгоритмов; – методы обработки данных.
06.042 Специалист по большим данным	– осуществлять математическое и информационное моделирование.	– теория вероятностей и математическая статистика; – математическое моделирование – существующие и перспективные математические методы и инструментальные средства анализа больших данных.
25.027 Специалист по разработке аппаратуры бортовых космических систем	– применять методы математического моделирования при выполнении расчетов для разработки функциональных узлов.	– методы составления адекватных имитационных математических моделей электрорадиоизделий.
28.006 Специалист по оптимизации производственных процессов	– анализировать статистические данные по работе участков изготовления деталей и узлов тяжелого машиностроения.	– методология функционального моделирования; – методики обработки статистических данных.
40.040 Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложно-функциональных блоков	– проводить минимизацию логической функции.	– физические и математические модели основных элементов электрических схем; – методы построения моделей; – моделирование и верификация моделей.

возможностями организации обучения математике в электронной среде и отсутствием результативной методики этого обучения, позволяющей формировать практическую сторону математической компетентности. Разрешением данного противоречия может стать методика разработки задач-тренажеров, представленная в данной статье, позволяющая формировать компетенцию решения математических задач в электронной среде.

1. Способность решать математические задачи с точки зрения компетентностного подхода

Компетентностный подход к определению результатов обучения пришел на смену традиционной для советской системы образования триаде «знания умения-навыки»

(ЗУН) с момента присоединения РФ к Болонскому процессу в 2003 г. и закреплён в настоящее время в федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС). Компетенция и компетентность, основные составляющие этого подхода, являются понятиями более высокого уровня, нежели знания, умения и навыки, включая их в себя в качестве одной из базовых ступеней [7].

Следует отметить, что понятия компетентности и компетенции зачастую используются в научной литературе и в нормативных документах синонимически. На этот факт указывает, например, Лютнер [8], анализируя оценочные средства таких программ по оценке образовательных достижений учащихся как PISA, TIMSS и PIRLS, а также Зимняя [9], анализируя тексты ФГОС. При этом многие исследователи разграничивают

понятия компетентности и компетенции – различные подходы к их определению можно встретить в [9–11].

В иерархии компетентностей самый высокий уровень занимают ключевые (базовые, универсальные) компетентности, а предметные компетентности (т.е. способности, необходимые для эффективного выполнения определенных действий в определенной предметной области) выступают как конкретизации ключевых [10, 12]. Это позволяет сделать вывод, что через формирование предметных компетенций можно в той или иной мере формировать ключевые.

Обратимся теперь к понятиям математической компетентности и математических компетенций, и их месту в упомянутой выше иерархии. В рекомендациях Совета Европейского Союза [13], математи-

ческая компетентность названа одной из ключевых компетентностей непрерывного образования и определяется как способность развивать и применять математическое мышление и проницательность для решения ряда проблем в повседневных ситуациях, а также использовать математические представления (формулы, модели, конструкции, графики, диаграммы).

В работе [12] авторы предлагают разбить математическую компетентность на три основные составляющие: практическая компетентность, которая включает конкретные математические умения и навыки; общекультурная компетентность, которая включает междисциплинарные связи математики с различными областями человеческой жизни; социально-личностная компетентность, которая широко интерпретируется: от способности к коммуникации с использованием математического языка до умения искать, отбирать, анализировать, систематизировать, классифицировать математическую информацию.

В работе [14] под математической компетентностью авторы понимают способность адекватно применять математику в любых контекстах для решения любого типа задач. При этом они предлагают следующую структурную модель: *математическая компетентность есть конструктор из математических компетенций*. А математическая компетенция представляет собой сознательную готовность использовать те или иные аспекты математики для решения проблем определенного типа.

В работе [15] *математическая компетентность понимается как результат освоения математической компетенции*, ее практическая реализация, что по сути является проекцией определения Хуторского.

Несмотря на отсутствие устоявшихся определений и иерархии понятий, очевидно, что предмет нашего исследо-

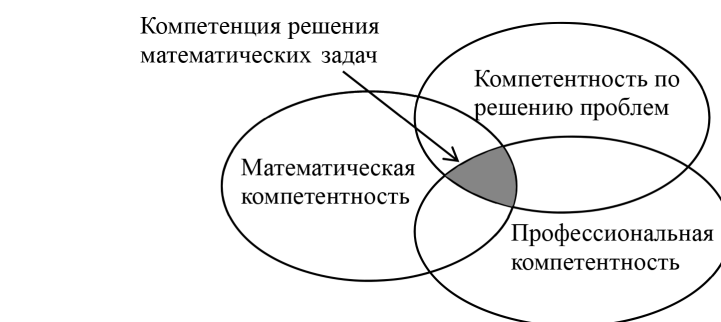


Рис. 1. Компетенция решения математических задач в иерархии компетентностей

Fig. 1. Competence of solving mathematical problems in the hierarchy of competencies

вания — *способность решать математические задачи — это одна из важнейших составляющих математической компетентности*. Кроме того, ее можно рассматривать и как одну из составляющих базовой компетентности в области решения проблем («problem solving competence»), которая считается одной из ключевых компетентностей 21 века [16]. Бакстер и Глейзер [17] определяют данную компетентность как совокупность следующих компетенций: способности определять и формулировать проблему, способность выбирать и реализовывать стратегии решения проблемы, способность оценивать и объяснять результат, способность осуществлять самоконтроль.

Как отмечают авторы в работе [18], обучение решению математических задач — эффективнейший инструмент для формирования этой ключевой компетентности, поскольку математические задачи требуют применения критического мышления, способности к формализации, гибкости при выборе формы мышления и стратегий решения — всего того, что составляет суть математического мышления.

Способность решать математические задачи в том или ином виде фигурирует и в профессиональных компетенциях. Так, например, математическое моделирование процессов и объектов на базе пакетов

прикладных программ, исследование и проведение экспериментов по заданной методике, и анализ их результатов фигурируют в качестве профессиональных задач выпускников бакалавриата информационно-технических направлений [19]. Таким образом, можно считать, что компетенция решения математических задач находится на пересечении математической компетентности, компетентности по решению проблем и профессиональной компетентности (см. рис. 1).

Несмотря на то, что электронное обучение прочно вошло в практику образовательных учреждений, возможности применения электронной среды для формирования математической компетентности и, в частности, способности решать математические задачи остаются слабо изученными [19]. Создание методики формирования этой компетенции с помощью электронных средств обучения позволит внедрить в учебный процесс эффективные средства обучения, нацеленные на формирование компетенции решения математических задач в рамках самостоятельной работы.

Подходы к формализации принципов решения математических задач

При обучении студентов решению математических задач в рамках контактной ра-

боты преподаватель и студент не ограничены в средствах, используемых для работы над задачей, однако в случае поручения функций преподавателя электронной обучающей системе подобная гибкость и возможность персонализации системы «преподаватель-студент» уже будет невозможна — обучающая система может действовать только согласно прописанному для нее алгоритму. Поэтому важно максимально *формализовать процесс решения задач и выявить наиболее универсальную и эффективную последовательность действий в работе над задачей*

Пионером в систематизации принципов решения задач можно считать Д. Пойа, который в своей книге «How to solve it» [20] предлагает при обучении решению задач придерживаться следующей последовательности:

1. Понимание задачи («Что дано? Что неизвестно? Какие заданы условия?»).

2. Выработка плана решения («Знаете ли вы похожие задачи? Как можно использовать данные и условия?»).

3. Выполнение плана («Можете ли вы обосновать правильность выполненного шага?»).

4. Верификация результата и подведение итогов («Не противоречат ли полученные результаты каким-либо условиям? Можно ли было получить эти результаты другим способом? Для чего можно применить полученный результат?»).

В работе [21] рассматривается следующая модель решения задачи, названная авторами «IDEAL». Это название представляет собой аббревиатуру, сформированную по первым буквам названий этапов решений.

1. Identify — определение проблемы.

2. Define — постановка задачи, определение целей.

3. Explore — рассмотрение вариантов или стратегий, ко-

торые могут быть использованы для достижения этих целей.

4. Act — реализация выбранной стратегии.

5. Look back — оценка эффективности выбранной стратегии и достижения целей.

Рассмотренные выше схемы могут считаться абстрактной, внеконтекстной формализацией процесса решения задачи, так как в ней не учитываются:

— связь конкретной рассматриваемой задачи с другими задачами данной предметной области;

— обращение обучающегося с своим предыдущему опыту;

— мотивационные аспекты и др.

В частности, из-за отсутствия в моделях контекста их можно считать универсальными, применимыми к решению задач разной степени абстракции в различных областях знаний. Математические задачи — это всего лишь один из типов задач, к которым данные схемы можно применить.

Р. Майер [22] предлагает следующую формализацию процесса решения математической задачи, уточняя первый этап схемы Д. Пойа («Понимание задачи») таким образом, чтобы учесть обращение обучающегося к своему предыдущему опыту и особенностям предметной области:

1. Понимание задачи:

— *Лингвистический аспект понимания задачи.* Студент осознает значение отдельных слов в условиях задачи и имеющиеся между ними связи, переводит текст задачи на язык математики, находя в нем переменные, математические выражения, составляя уравнения и неравенства.

— *Семантический аспект понимания задачи.* Студент вспоминает единицы и шкалы измерения величин, известные ему факты о фигурирующих в задаче объектах, которые нужны для понимания смысла задачи и выстраивания некоторых связей.

— *Схематический аспект понимания задачи.* Студент вспоминает типы задач, встречающиеся в данной предметной области, относит решаемую им задачу к одному из этих типов и, возможно, подбирает шаблон решения задачи.

2. Решение задачи:

— *Процедурный аспект решения задачи.* Студент реализует алгоритмы проведения простейших операций из предметной области, например, арифметических операций, упрощения выражений, решения уравнений.

— *Стратегический аспект решения задачи.* Студент планирует ход решения задачи, декомпозирует цели на подцели.

Приведенная формализация Р. Майера является комплексной и легко алгоритмизируемой. Необходимо разработать средство обучения в электронной среде, которое позволит формировать компетенцию решения математических задач с опорой на данную формализацию. В качестве естественного средства обучения решению математических задач нам видится электронный тренажер.

2. Электронный тренажер как средство обучения

Понятие «тренажер» используется в педагогической среде в разных контекстах, в которых смысл понятия может существенно отличаться. В более общем случае под тренажерами и симуляторами понимаются средства, методы и формы обучения, способствующие приобретению знаний, формированию и закреплению навыков [23]. В данном случае не происходит разделения на физический или электронный вариант реализации тренажера: это могут быть различные технические средства, позволяющие формировать отдельные категории профессиональных навыков (моторные, диагностические, алгоритмические и т.д.). Применение таких трена-

жеров жестко ограничено сферой подготовки выпускника и его специализацией, а разработка является дорогостоящей.

Развитие электронного обучения и его новых форматов, связанное с потребностью в учете особенностей поколения Z позволило выделить понятие «электронный тренажер». Под таким тренажером понимается комплекс заданий, который предназначен для самостоятельной оценки уровня усвоения знаний и навыков [24]. Иногда электронные тренажеры, при соответствующей организации, используются как средство развития творческой и познавательной инициативы [25].

В гуманитарных направлениях успешно применяют диалоговые тренажеры, позволяющие тренировать навыки публичной речи с различными собеседниками в различных ситуациях [26]. В работе [27] развивается идея диалоговых тренажеров, перенесенных в виртуальное пространство. Такая подготовка успешно применяется для обучения будущих педагогов посредством моделирования реального занятия в виртуальной среде с виртуальными учащимися. Но все же чаще всего тренажеры применяются для подготовки специалистов технического профиля. Различные варианты электронных тренажеров используются при подготовке студентов по дисциплине «Физическая химия» [28], технических специалистов в области пиротехники [29] и атомной отрасли [30].

В работах [31–33] были представлены тренажеры, нацеленные на запоминание студентами математических формул, однако применения подобных тренажеров было признано неэффективным.

Следует отдельно упомянуть об исследованиях эффективности применения тренажеров для формирования математических навыков. Так, работа [14] посвящена разработке и внедрению тренажеров по математи-

ческому анализу с применением технологии динамического тестирования в проблемной среде. Примеры реализации тренажеров по разделам дифференциальных уравнений как на основе собственного программного обеспечения [35], так и с применением технологий вычисляемых файлов Wolfram Alpha [36] показывают различный инструментарий для реализации тренажеров по математическим дисциплинам. Тренажеры кнопочного вида для курса высшей математики приводятся в работе [31], в которой отмечается, что качество формирования навыков в электронной среде оказывается не хуже, чем при традиционном формате обучения.

При всей важности упомянутых практических реализаций, ни в одной работе не представлена методика решения математических задач, которая бы опиралась на полный цикл работы над задачей, а также являлась бы универсально применимой ко всем математическим дисциплинам. Таким образом, разработка универсальной методики формирования компетенции решения математических задач в электронной среде могла бы внести существенный вклад в теорию и методику информатизации образования.

3. Методика формирования компетенции решения математических задач в электронной среде с помощью задач-тренажеров

Структурная модель задачи-тренажера

В нашей работе при реализации процесса решения математической задачи в электронной среде согласно формализации Р. Майера в существующий набор аспектов решения задачи (лингвистический, семантический, схематический, процедурный, стратегический) были добавлено два: контекстный и аналитический

аспекты.

Контекстный аспект решения задачи является логическим продолжением семантического аспекта и формулируется следующим образом: студент сопоставляет условия задачи с изучаемым в данный момент теоретическим материалом, что необходимо для понимания математического базиса задачи и выстраивания связей. Для некоторых задач целесообразно включать микропорции теоретической информации, необходимой для решения задачи. В рамках контекстного аспекта можно связать задачу с профессиональной деятельностью, а также продемонстрировать реальное применение изучаемого теоретического материала в практических ситуациях. Таким образом, данный аспект позволяет реализовывать интеграцию различных математических областей, устанавливать связи между ними и практико-ориентированным контекстом предложенной задачи.

Аналитический аспект решения задачи позволяет провести сравнение полученного результата с фактическим условием задачи согласно последнему этапу схемы Д. Поиа. Сформулируем его так: студент проводит содержательный анализ полученного результата и проверяет выполнение ограничений задачи. Данный аспект важен для определения корректности решения и его пересмотра в случае наличия ошибок, а также осознания смысла полученного результата.

Представленная формализация была положена в основу при разработке задач-тренажеров в электронном курсе по дисциплине «Теория вероятностей и математическая статистика». Компоненты электронной задачи-тренажера и их реализация в задаче-тренажере по теме «Математическое ожидание непрерывной случайной величины» приведены в табл. 2.

Структурная модель задачи тренажера

Table 2

Structural model of training problems

Компоненты электронной задачи-тренажера	Реализация в задаче-тренажере «Математическое ожидание непрерывной случайной величины»																				
Условие задачи	Работница кондитерского цеха лепит пирожные «Картошка» в виде шариков. Согласно технологии для изготовления одного пирожного она должна взять 100 см^3 сладкой массы и слепить из нее шарик. Работница отмеряет этот объем на глаз, зачерпывая сладкую массу ладонью. При этом она, разумеется, немного ошибается. Эта ошибка (погрешность измерения) ε имеет равномерное распределение на интервале от -30 см^3 до 20 см^3. Определите: - средний радиус получающегося у этой работницы пирожного «Картошка»; - радиус, который бы получался у пирожного, если бы работница отмеряла необходимый объем сладкой массы точно.																				
Гиперссылки на специфические определения и понятия (лингвистический аспект)	Эта ошибка (погрешность измерения) ε имеет равномерное распределение на интервале от -30 см^3 до 20 см^3. Гиперссылка на статью в глоссарии: Погрешность измерения — отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения.																				
Вопросы на знание свойств и параметров рассматриваемых в задачах объектов (семантический аспект)	Выберите формулу для нахождения радиуса шара R по его известному объему V <table border="1"> <thead> <tr> <th>Варианты ответа</th><th>Комментарий к ответу</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$R = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}}$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$R = \sqrt[3]{V}$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$</td><td>Верно</td></tr> <tr> <td>$R = \sqrt[3]{\frac{V}{3\pi}}$</td><td>Неверно</td></tr> </tbody> </table>	Варианты ответа	Комментарий к ответу	$R = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}}$	Неверно	$R = \sqrt[3]{V}$	Неверно	$R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$	Верно	$R = \sqrt[3]{\frac{V}{3\pi}}$	Неверно										
Варианты ответа	Комментарий к ответу																				
$R = \sqrt[3]{\frac{V}{\pi}}$	Неверно																				
$R = \sqrt[3]{V}$	Неверно																				
$R = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}}$	Верно																				
$R = \sqrt[3]{\frac{V}{3\pi}}$	Неверно																				
Задания на определение математического базиса задачи (контекстный аспект)	Случайная величина R (радиус пирожного) является... <table border="1"> <thead> <tr> <th>Варианты ответа</th><th>Комментарий к ответу</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Дискретной</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>Непрерывной</td><td>Верно</td></tr> </tbody> </table> В задаче требуется найти... <table border="1"> <thead> <tr> <th>Варианты ответа</th><th>Комментарий к ответу</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Математическое ожидание R</td><td>Верно</td></tr> <tr> <td>Медианное значение R</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>Моду R</td><td>Верно</td></tr> <tr> <td>Дисперсию R</td><td>Неверно</td></tr> </tbody> </table>	Варианты ответа	Комментарий к ответу	Дискретной	Неверно	Непрерывной	Верно	Варианты ответа	Комментарий к ответу	Математическое ожидание R	Верно	Медианное значение R	Неверно	Моду R	Верно	Дисперсию R	Неверно				
Варианты ответа	Комментарий к ответу																				
Дискретной	Неверно																				
Непрерывной	Верно																				
Варианты ответа	Комментарий к ответу																				
Математическое ожидание R	Верно																				
Медианное значение R	Неверно																				
Моду R	Верно																				
Дисперсию R	Неверно																				
Задание о математической записи условий задачи и/или вопроса задачи (лингвистический аспект)	Объем получающегося у работницы кондитерского цеха пирожного — это случайная величина... <table border="1"> <thead> <tr> <th>Варианты ответа</th><th>Комментарий к ответу</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$100 + \varepsilon$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$100 \cdot \varepsilon$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$100 + \varepsilon$</td><td>Верно</td></tr> <tr> <td>$100 - \varepsilon$</td><td>Неверно</td></tr> </tbody> </table> Математическое ожидание случайной величины «радиус пирожного» — это... <table border="1"> <thead> <tr> <th>Варианты ответа</th><th>Комментарий к ответу</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100 + \varepsilon)}{4\pi}}\right)$</td><td>Верно</td></tr> <tr> <td>$M(100 \cdot \varepsilon)$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$M(\sqrt[3]{100 + \varepsilon})$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$\sqrt[3]{\frac{3(100 + \varepsilon)}{4\pi}}$</td><td>Неверно</td></tr> </tbody> </table>	Варианты ответа	Комментарий к ответу	$100 + \varepsilon $	Неверно	$100 \cdot \varepsilon$	Неверно	$100 + \varepsilon$	Верно	$100 - \varepsilon$	Неверно	Варианты ответа	Комментарий к ответу	$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100 + \varepsilon)}{4\pi}}\right)$	Верно	$M(100 \cdot \varepsilon)$	Неверно	$M(\sqrt[3]{100 + \varepsilon})$	Неверно	$\sqrt[3]{\frac{3(100 + \varepsilon)}{4\pi}}$	Неверно
Варианты ответа	Комментарий к ответу																				
$100 + \varepsilon $	Неверно																				
$100 \cdot \varepsilon$	Неверно																				
$100 + \varepsilon$	Верно																				
$100 - \varepsilon$	Неверно																				
Варианты ответа	Комментарий к ответу																				
$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100 + \varepsilon)}{4\pi}}\right)$	Верно																				
$M(100 \cdot \varepsilon)$	Неверно																				
$M(\sqrt[3]{100 + \varepsilon})$	Неверно																				
$\sqrt[3]{\frac{3(100 + \varepsilon)}{4\pi}}$	Неверно																				

Компоненты электронной задачи-тренажера	Реализация в задаче-тренажере «Математическое ожидание непрерывной случайной величины»												
Задание на определение типа задачи и шаблона решения (схематический аспект)	Для того, чтобы найти математическое ожидание случайной величины R, необходимо воспользоваться формулой... <table> <tr> <th>Варианты ответа</th><th>Комментарий к ответу</th></tr> <tr> <td>$MR = \sum_{i=1}^{\infty} x_i \cdot P(R = x_i)$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$MR = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(R = x_i)$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$MR = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx$</td><td>Верно</td></tr> <tr> <td>$MR = F_R^{-1}(0.5)$</td><td>Неверно</td></tr> </table>	Варианты ответа	Комментарий к ответу	$MR = \sum_{i=1}^{\infty} x_i \cdot P(R = x_i)$	Неверно	$MR = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(R = x_i)$	Неверно	$MR = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx$	Верно	$MR = F_R^{-1}(0.5)$	Неверно		
Варианты ответа	Комментарий к ответу												
$MR = \sum_{i=1}^{\infty} x_i \cdot P(R = x_i)$	Неверно												
$MR = \sum_{i=1}^n x_i \cdot P(R = x_i)$	Неверно												
$MR = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x) dx$	Верно												
$MR = F_R^{-1}(0.5)$	Неверно												
Задания на прохождение алгоритма, конкретизацию шаблона в соответствии с условиями задачи, Учет свойств изучаемых математических объектов (стратегический аспект)	Чтобы вычислить $M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right)$ нужно будет воспользоваться свойствами математического ожидания. Для каждого из приведенных ниже утверждений отметьте, являются они верными или нет <table> <tr> <th>Утверждение</th><th>Ответ</th></tr> <tr> <td>$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot M(\sqrt[3]{100+\varepsilon})$</td><td>Верно</td></tr> <tr> <td>$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = M(\sqrt[3]{100+\varepsilon})$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \sqrt[3]{100+M\varepsilon}$</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \frac{1}{50} \sqrt[3]{100+\varepsilon} d\varepsilon$</td><td>Верно</td></tr> <tr> <td>$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \sqrt[3]{100+\varepsilon} d\varepsilon$</td><td>Неверно</td></tr> </table>	Утверждение	Ответ	$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot M(\sqrt[3]{100+\varepsilon})$	Верно	$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = M(\sqrt[3]{100+\varepsilon})$	Неверно	$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \sqrt[3]{100+M\varepsilon}$	Неверно	$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \frac{1}{50} \sqrt[3]{100+\varepsilon} d\varepsilon$	Верно	$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \sqrt[3]{100+\varepsilon} d\varepsilon$	Неверно
Утверждение	Ответ												
$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot M(\sqrt[3]{100+\varepsilon})$	Верно												
$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = M(\sqrt[3]{100+\varepsilon})$	Неверно												
$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \sqrt[3]{100+M\varepsilon}$	Неверно												
$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \frac{1}{50} \sqrt[3]{100+\varepsilon} d\varepsilon$	Верно												
$M\left(\sqrt[3]{\frac{3(100+\varepsilon)}{4\pi}}\right) = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \sqrt[3]{100+\varepsilon} d\varepsilon$	Неверно												
Задания на проведение вычислений (процедурный аспект)	Итак, для нахождения среднего радиус получающегося у этой работницы пирожного «Картошка», нам осталось вычислить $MR = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \frac{1}{50} \sqrt[3]{100+\varepsilon} d\varepsilon$. Это значение равно ... Ответ: 2.823 см. Теперь найдите радиус, который бы получался у пирожного, если бы работница отмеряла необходимый объем сладкой массы точно. Он равен... Ответ: 2.879 см.												
Задание на анализ и интерпретацию полученного решения (аналитический аспект)	Предположим, что покупатели пирожных не замечают различий в диаметре пирожных, меньших 5 мм по модулю. Если работница изготовит пирожное, радиус которого равен среднему радиусу, то покупатель... <table> <tr> <th>Варианты ответа</th><th>Комментарий к ответу</th></tr> <tr> <td>заметит, что пирожное меньше стандартного</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>заметит, что пирожное больше стандартного</td><td>Неверно</td></tr> <tr> <td>не заметит отклонений от стандартного размера</td><td>Верно</td></tr> </table>	Варианты ответа	Комментарий к ответу	заметит, что пирожное меньше стандартного	Неверно	заметит, что пирожное больше стандартного	Неверно	не заметит отклонений от стандартного размера	Верно				
Варианты ответа	Комментарий к ответу												
заметит, что пирожное меньше стандартного	Неверно												
заметит, что пирожное больше стандартного	Неверно												
не заметит отклонений от стандартного размера	Верно												

Для реализации предложенной модели в электронной среде необходимо наличие следующего функционала:

Последовательное открытие заданий. Задания в тренажере представлены в виде отдельных задач, доступ к которым открывается последовательно. Это необходимо для того, что-

бы информация в каждом последующем задании не могла прямо или косвенно указать на правильный ответ предыдущего задания. В LMS Moodle имеется возможность ставить вопросы в зависимости друг от друга. В этом случае при прохождении задачи-тренажера у пользователя не будет воз-

можности увидеть следующий вопрос, пока не будет дан ответ на предыдущий. При этом важно, чтобы все задания располагались на одной странице и у пользователя не было проблем с обращением к результатам и вычислениям, полученным на предыдущих шагах решения задачи.

Несколько попыток прохождения задачи-тренажера. Обучающее воздействие задачи-тренажера проявляется только при наличии возможности исправлять свои ошибки, возникающие в процессе решения. Для этого электронная среда должна позволять проходить как всю задачу-тренажёр, так и отдельные его задания несколько раз. За счет обратной связи задача-тренажёр выполняет функции наставника или тьютора в электронной среде, сопровождая каждый шаг решения задачи подробными комментариями и последовательными подсказками, способствующими достижению правильного решения задания. Такие подсказки могут содержать:

- пояснения к каждому ответу;
- ссылки на глоссарий в электронном курсе с необходимыми формулами и понятиями;
- контрпримеры, опровергающие правильность выбранного решения задания;
- фрагменты теоретического материала курса.

Методология организации обратной связи в задаче-тренажере

Обратная связь в электронном тренажере, будучи реализованной грамотно, способна мотивировать студентов и значительно повысить эффективность обучения [37, 38]. Отметим следующие важные функции обратной связи:

— *Формирование метакогнитивных*. Самооценка студентами результатов деятельности на основе обратной связи позволяет успешно формировать метакогнитивные стратегии деятельности [39].

— *Тьюторинг*. Электронный тренажер можно рассматривать как интерактивную игровую технологию обучения, в которой тренажер перенимает роль тьютора за счет своевре-

менной персонализированной обратной связи, указания на важные особенности задачи, подсказки и т.д. Именно такое согласованное посредничество позволяет развивать креативность и творческий подход для решения более сложных задач [34].

В своей работе Р. Майер [40] описывает результаты имитационного моделирования системы «учитель-ученик» (с помощью вероятностного автомата) и приходит к выводу, что обучение с «поощрением и наказанием» является наиболее эффективным с точки зрения скорости формирования навыков и максимального уровня их сформированности. Под поощрением в данном случае подразумевается сообщение ученику о правильности ответа и выставление высокой оценки, под наказанием — информирование о неправильности ответа и сообщение правильного. Относительно способа реагирования учителя на неправильные ответы ученика Майер выделяет четыре стратегии:

1. «Неверно, повторите еще раз ту же операцию».
2. «Неверно, правильно так. Повторите еще раз ту же операцию».
3. «Неверно. Повторите всю последовательность действий с начала задачи».
4. «Неверно. Правильно так. Повторите всю последовательность действий сначала».

С помощью имитационного моделирования процесса обучения, он обнаружил, что наиболее эффективным стратегиями являются стратегии 2 и 4.

Так, в предлагаемой нами модели задачи-тренажера выполнение последующего задания зачастую невозможно без получения правильного ответа на предыдущее задание, то для реагирования ЭОС на неправильные ответы больше подходит стратегия 2. Учитывая, что самостоятельное правильное решение задачи способствует

большей прочности приобретаемых умений и навыков, несколько изменим эту стратегию — вместо сообщения правильного ответа при первой же попытке выполнения задания, будем давать обучающемуся подсказки. Отклик ЭОС на неправильный ответ обучающегося может иметь вид «Неверно, попробуйте применить такой-то подход. Повторите еще раз ту же операцию» или «Неверно, ваша ошибка заключается в том-то. Повторите еще раз ту же операцию».

Рассмотрим варианты организации обратной связи для разных типов заданий электронной задачи-тренажера.

В заданиях на установление соответствий или в заданиях типа «Множественный выбор» важно не только подобрать варианты ответов, но и предоставить адресный отзыв к каждому из них. В идеале неверные варианты должны соответствовать наиболее распространенным ошибкам при решении данного типа задач, а отзывы к таким ответам — пояснять суть допущенных ошибок и предлагать студентам способы, как подобные ошибки отследить самостоятельно. Итоговый отзыв, который предоставляется студенту при исчерпании всех попыток выполнения задания, должен содержать правильный ответ и пояснения, как этот ответ может быть получен.

На рис. 2 приведен пример организации отзывов в заданиях типа «Множественный выбор».

Обратную связь в заданиях, предполагающих введение студентом числового ответа, можно организовать следующим образом:

— число попыток выполнения задания установить в зависимости от сложности задания и количества, совершаемых при его выполнении нетривиальных математических операций;

— при каждой неправильной попытке предоставлять студен-

Объем получающегося у работницы кондитерского цеха пирожного - это случайная величина...

Выберите один ответ:

☐ a. $100 + |\varepsilon|$

Неверно. Обратите внимание, что работница может ошибаться как в большую, так и в меньшую сторону. Объем шарика во втором случае будет менее 100см^3

☐ b. $100 \cdot \varepsilon$

Неверно. Давайте проверим размерность получившейся случайной величины:
 $100\text{см}^3 \cdot \varepsilon\text{см}^3 = 100\varepsilon\text{см}^6$. Неверная размерность для объема.

☐ c. $100 - \varepsilon$

Неверно. В таком случае работница будет сильнее ошибаться в большую сторону, а по условию задачи она склонна "недобирать" тесто

☐ d. $100 + \varepsilon$

☒ Верно.

Проверить

Рис. 2. Организация отзывов к различным вариантам ответов задачи-тренажера «Математическое ожидание непрерывной случайной величины»

Fig. 2. Organization of responses to various answers to the training problem "Mathematical expectation of a continuous random variable"

ту подсказки, которые помогут ему проверить правильность проводимых им операций или предложат ему способ вычисления;

– если студент исчерпал попытки, в итоговом отзыве предоставить ему правильный ответ и краткое пояснение того, как он может быть получен.

На рис. 3 приведен пример организации обратной связи в задании на введение числового ответа

4. Исследование эффективности электронных задач-тренажеров

Практическая реализация вышеописанной методики заключалась в разработке электронных задач-тренажеров по дисциплине «Теория вероятностей и математическая статистика». Был создан ком-

Вопрос 1

Осталось попыток: 2

Балл: 3,0

Итак, для нахождения среднего радиуса получающегося у этой работницы пирожного "Картошка", нам осталось вычислить

$$MR = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \frac{1}{50} \sqrt[3]{100 + \varepsilon} d\varepsilon$$

Это значение равно...

(ответ записать в виде десятичной дроби с 3 знаками после запятой. Допустима ошибка в 0,001)

Ответ:

Подсказка 1: Неверно.

Подсказка: для вычисления данного интеграла можно воспользоваться методами подведения под знак дифференциала или замены переменной

[Попробовать еще раз](#)

Подсказка 2: Неверно.

Подсказка: воспользуйтесь формулой первообразной от степенной функции x^m

[Попробовать еще раз](#)

Итоговый отзыв:

$$MR = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \int_{-30}^{20} \frac{1}{50} \sqrt[3]{100 + \varepsilon} d\varepsilon = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \frac{1}{50} \cdot \int_{-30}^{20} (100 + \varepsilon)^{\frac{1}{3}} d(100 + \varepsilon) =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi}} \cdot \frac{1}{50} \cdot \frac{3}{4} \cdot (100 + \varepsilon)^{\frac{4}{3}} \Big|_{-30}^{20} = 2,823$$

Итак, среднее значение радиуса получающегося пирожного "Картошка" равно 2,823 см.

Рис. 3. Организация обратной связи в задании на введение числового ответа для задачи-тренажера «Математическое ожидание непрерывной случайной величины»

Fig. 3. Organization of feedback in the task for the introduction of a numerical answer for the training problem "Mathematical expectation of a continuous random variable"

плект задач-тренажеров, включающий задачи по следующим темам:

- математическое ожидание непрерывной случайной величины;
- дисперсия случайной величины;
- эмпирическая функция распределения;
- проверка гипотезы о виде распределения;
- проверка гипотезы независимости;
- проверка гипотезы однородности;
- проверка гипотезы случайности;
- парная линейная регрессия.

Комплект задач-тренажеров был встроен в электронный курс по дисциплине и апробирован в качестве учебного средства для самостоятельной работы студентов инженерных специальностей.

Кроме того, для проверки эффективности использования этих тренажеров в качестве инструмента формирования умения решать задачи в 2020–2021 учебном году был проведен следующий эксперимент: учебный поток студентов по направле-

нию подготовки «Информатика и вычислительная техника» в количестве 84 человек был разбит на 2 группы с приблизительно одинаковым средним баллом по ранее проведенным контрольным по дисциплине (p -значение критерия Стьюдента для оценки значимости различий средних баллов равно 0,43, что позволяет считать эти различия статистически незначимыми). Студентам экспериментальной группы (41 человек со средним баллом 57,6) в рамках самостоятельной работы было предложено пройти задачи-тренажеры. Студенты контрольной группы (43 человека со средним баллом 56,5) изучали подробно разобранные решения этих же задач, представленные в курсе в виде текстового документа. Затем студенты обеих групп проходили одинаковые тесты по соответствующим темам.

Целью эксперимента было исследовать влияние задач-тренажеров на сформированность компетенции решения математических задач по соответствующим темам.

При планировании эксперимента в качестве методов

статистического анализа были выбраны критерий Стьюдента для независимых выборок и критерий Манна-Уитни (для использования в случае нарушении допущений о нормальности или гомоскедастичности выборок). Априори по известному объему выборки и выбранному уровню значимости критерия $\alpha = 0,1$ для каждой из предложенных Коэном [1988] ориентировочных величин слабого, умеренного и сильного эффектов была вычислена мощность критерия Стьюдента. Она составила, соответственно, 0,24, 0,73 и 0,98, следовательно, эксперимент, проведенный по данному плану, с достаточно большой вероятностью (98%) позволит обнаружить сильное влияние средства обучения на успешность решения задач, при этом вероятность обнаружить умеренное и слабое влияние невелика. Известно, что для непараметрических тестов мощность всегда меньше, чем у соответствующего параметрического аналога, поэтому вероятность обнаружить слабый и средний эффект с помощью теста Манна-Уитни еще

Таблица 3

Результаты педагогического эксперимента

Table 3

Results of the pedagogical experiment

Результирующая переменная	Среднее значение результирующей переменной для соответствующих средств обучения		Метод анализа	p -value	Влияния фактора на результат значимо на уровне 0.1
	задачи-тренажеры	разборы решения задач			
баллы по тесту «Математическое ожидание»	83.4	75.22	Тест Стьюдента с нормальной трансформацией	0.073	да
баллы по тесту «Дисперсия»	62.73	51.6	тест Манна-Уитни	0.628	нет
баллы по тесту «Эмпирическая функция распределения»	72.82	66.39	Тест Стьюдента с нормальной трансформацией	0.055	да
баллы по тесту «Гипотеза о виде распределения»	94.9	83.8	тест Манна-Уитни	0.087	да
баллы по тесту «Гипотеза о независимости»	82.7	67.3	тест Манна-Уитни	0.162	нет
баллы по тесту «Гипотеза однородности»	84.6	78.83	тест Манна-Уитни	0.664	нет
баллы по тесту «Гипотеза случайности»	90.4	80.3	тест Манна-Уитни	0.301	нет
баллы по тесту «Линейная регрессия»	55.53	39.56	Тест Стьюдента с нормальной трансформацией	0.091	да

ниже. Спланированный таким образом эксперимент позволит нам с высокой вероятностью правильно сделать вывод о наличии или отсутствии сильного эффекта от применения в учебном процессе электронных задач-тренажеров.

В табл. 3 представлены результаты статистического анализа влияния фактора «используемое средство обучения» на сформированность компетенции решения задач.

Как видно из таблицы, во всех случаях средние баллы у студентов экспериментальной группы выше, чем у студентов контрольной группы. При этом статистически значимой эта разница является для 4 задач-тренажеров из 8. По остальным задачам-тренажерам положительное влияние не было ярко выраженным (признано статистически незначимым). Это может быть обусловлено как планом эксперимента, позволяющим достаточно достоверно обнаружить лишь сильный эффект, так и, возможно, не совсем удачным дизайном конкретных задач-тренажеров. Поэтому важно, с одной стороны, продолжить работу над улучшением практической реализации предложенной методики, а с другой — повторить эксперимент на большей группе студентов для возможности обнаружения более слабых эффектов.

Заключение

В работе представлен методологически обоснованный подход к формированию компетенции решения математических задач в электронной среде. В основу методики легли

исследования в области формализации принципов полного цикла решения математических задач. Существующая формализация этапов решения задач Р. Майера, которая включает лингвистический, семантический, схематический, процедурный и стратегический аспекты, дополнена контекстным и аналитическим аспектами. Предложенная методика является универсальной и позволяет разрабатывать электронные средства обучения для формирования математической компетентности в рамках самостоятельной работы студентов.

В качестве средства обучения в электронной среде, позволяющего реализовать все этапы формализации, предлагается использовать электронные задачи-тренажеры. Была разработана структурная модель электронной задачи-тренажера, основанная на полном цикле решения математических задач. С помощью задач-тренажеров в электронной среде появляется возможность не только алгоритмизировать процесс решения задачи и продемонстрировать студентам эффективные стратегии их решения, но и применить основные принципы формирования стойких навыков за счет эффективной организации обратной связи. Предложенная в работе методология организации обратной связи за счет элементов тьюторинга способствует формированию у студентов метакогнитивных навыков: прежде всего рефлексии и самоконтроля.

Методика формирования компетенции решения математических задач апробирова-

на в учебном процессе студентов направления подготовки 09.03.02 — «Информационные системы и технологии» Сибирского федерального университета. Были разработаны 8 задач тренажеров по различным темам дисциплины «Теория вероятностей и математическая статистика», которые использовались в процессе апробации методики. Проведенный педагогический эксперимент подтвердил, что применение задач-тренажеров, разработанных на основе предложенной методики, позволяет повысить эффективность формирования праксиологического компонента математической компетентности, в частности компетенции решения математических задач. Полученные результаты могут быть также использованы для разработки электронных задач-тренажеров по другим математическим дисциплинам.

Проведенный педагогический эксперимент также указал, во-первых, на необходимость работы над дизайном задач-тренажеров, во-вторых, на необходимость проведения повторного эксперимента на большем количестве студентов для обнаружения более слабых эффектов воздействия электронных задач-тренажеров на формирование компетенции решения математических задач. Дальнейшее развитие предложенной в работе методики можно рассматривать во включении задач-тренажеров в комплекс мероприятия по формированию и оцениванию сформированности математической компетентности в электронной среде.

Литература

1. Усова Л.Б., Шакирова Д.У. Практико-ориентированный подход к формированию математической компетентности студентов направления подготовки «Математика и компьютерные науки» // Вестник Оренбургского государственного университета. 2018. № 1(213). С. 77–83.
2. Malmqvist J., Edström K., Rosen A. CDIO Standards 3.0—Updates to the Core CDIO Standards. Proceedings of the 16th International CDIO Conference. 2020. № 1. С. 60–76.
3. Чучалин А.И., Герасимов С.И. Компетенции выпускников инженерных программ: национальные и международные стандарты // Высшее образование в России. 2012. № 10. С. 3–14.
4. Bronov S., Stepanova E., Pichkovskaya S., Sheluhin A., Panikarova N. Information technology in the educational program design. Journal of Physics: Conference Series. 2019. № 3. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033066.
5. Есин Р.В., Кустицкая Т.А. Повышение эффективности обучения математике в электронной среде посредством лекций-тренажеров // Информатика и образование. 2019. № 8(307). С. 32–39. DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-8-32-39.
6. Вайнштейн Ю.В., Есин Р.В., Цибульский Г.М. Модель образовательного контента: от структурирования понятий к адаптивному обучению // Открытое образование. 2021. Т. 25. № 1. С. 28–39. DOI: 10.21686/1818-4243-2021-1-4-28-39.
7. Бортник Б.И., Стожко Н.Ю., Судакова Н.П. Оценка компетенций: формализация и формалистика // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. С. 160.
8. Leutner D., Fleischer J., Grünkorn J., Klieme E. Competence assessment in education: An introduction. In Leutner D., Fleischer J., Grünkorn J., Klieme E (ed.) Competence assessment in education. Cham: Springer, 2017. № 1–6.
9. Зимняя И.А. Компетенция и компетентность в контексте компетентностного подхода в образовании // Ученые записки национального общества прикладной лингвистики. 2013. № 4. С. 16–31.
10. Зеер Э.Ф. Модернизация профессионального образования: компетентностный подход // Образование и наука. 2004. № 3(27). С. 42–52.
11. Хуторской А.В. Методологические основания применения компетентностного подхода к проектированию образования // Высшее образование в России. 2017. №12. С. 85–91.
12. Аронов А.М., Знаменская О.В. О понятии математическая компетентность // Вестник Московского университета. Серия 20. Педагогическое образование. 2010. № 4. С. 31–43.
13. Council Recommendation on key competences for lifelong learning // Official Journal of the European Union. 2018. 189 с. Режим доступа: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604(01)&from=EN).
14. Niss M., Højgaard T. Mathematical competencies revisited // Educational Studies in Mathematics. 2019. № 102(1). С. 9–28.
15. Анисова Т.Л. Математические компетенции бакалавров-инженеров: определение, категории, уровни и их оценка // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 11(4). С. 493–497.
16. Binkley M., Erstad O., Herman J., Raizen S., Ripley M., Miller-Ricci M., Rumble M. Defining twenty-first century skills. In Griffin P. McGaw B., Care E. (ed.) Assessment and teaching of 21st century skills. Dordrecht: Springer. 2012. С. 17–66.
17. Baxter G.P. Glaser R. An approach to analyzing the complexity of science performance assessments. CSE Technical Report 452. Los Angeles, CA: CRESST, 1997. 33 с.
18. Szabo Z.K., Körtesi P., Guncaga J., Szabo D., Neag R. Examples of Problem-Solving Strategies in Mathematics Education Supporting the Sustainability of 21st-Century Skills. Sustainability. 2020. № 12(23). С. 10113. DOI: 10.3390/su122310113.
19. Есин Р.В., Вайнштейн Ю.В. Формирование математической компетентности на основе построения индивидуальной образовательной траектории в электронной среде. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2021. 164 с.
20. Polya G. How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method. Princeton: Princeton University Press, 2004. 280 с.
21. Bransford J.D., Stein B.S. The IDEAL problem solver: A guide for improving thinking, learning, and creativity. New York: W. H. Freeman and Company, 1993. 269 с.
22. Mayer R.E. Thinking, problem solving, cognition. New York: W. H. Freeman and Company, 1992. 580 с.
23. Дудырев Ф.Ф., Максименкова О.В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты // Вопросы образования. 2020. № 3. С. 255–276. DOI: 10.17323/1814-9545-2020-3-255-276.
24. Бакулина Е.А. Особенности разработки и использования тест-тренажера в обучении бакалавров педагогического вуза // Развитие современного образования: от теории к практике. 2017. С. 260–265.
25. Напалков С.В. Электронные образовательные тренажеры по математике как эффективное средство развития познавательной активности сельских школьников // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 1(32). С. 99–101.
26. Федорова Л.А. Разработка симуляторов для формирования компетенций магистрантов при реализации онлайн-курсов // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 5. С. 230–234.

27. Chini J., Straub C.L., Thomas K. Learning from Avatars: Learning Assistants Practice Physics Pedagogy in a Classroom Simulator // *Physical Review Physics Education Research*. 2016. № 12(1). С. 10117. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010117.
28. Жукова Н.В. Возможности использования электронных тест-тренажеров при обучении физической химии // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10(12). С. 2778–2781.
29. Седнев В.А., Аляев П.А. Электронный тренажер пиротехника // *Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России*. 2019. № 1. С. 113–120.
30. Василенко Н.П., Чабанова Н.И. Технология электронного обучения в математической подготовке студентов, ориентированных на работу в атомной отрасли // *Глобальная ядерная безопасность*. 2020. № 1(34). С. 125–135.
31. Беляускене Е.А., Имас О.Н., Кривяков С.В., Царева Е.В. Математика для инженеров: поиск оптимального сочетания интерактивных и традиционных методов // *Высшее образование в России*. 2020. № 29(7). С. 22–31. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-7-22-31.
32. Shirai S., Fukui T. Development and evaluation of a web-based drill system to master basic math formulae using a new interactive math input method. *International Congress on Mathematical Software*. 2014. С. 621–628. DOI: 10.1007/978-3-662-44199-2_93.
33. Arroyo I., Woolf B.P., Royer J.M., English S. Improving math learning through intelligent tutoring and basic skills training. *Intelligent Tutoring Systems, 10th International Conference, ITS 2010 (Pittsburgh, PA, USA)*. 2010. С. 423–432. DOI: 10.1007/978-3-642-13388-6_46.
34. Дьячук П.П., Шкерина Л.В., Шадрин И.В., Перегудина И.П. Динамическое адаптивное тестирование как способ самообучения студентов в электронной проблемной среде математических объектов // *Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. ВП Астафьева*. 2018. № 1. С. 48–59. DOI: 10.25146/1995-0861-2018-43-1-40.
35. Боев В.С., Головков А.О., Толмачев А.Р. Обучающий тренажер решения дифференциальных уравнений // *Современные достижения молодежной науки*. 2020. С. 205–216.
36. Асланов Р.М.О., Беляева Е.В., Муханов С.А. Тренажер по дифференциальным уравнениям на основе Wolfram CDF Player // *Сибирский педагогический журнал*. 2015. № 4. С. 26–30.
37. Wang T.H. Implementation of Web-based dynamic assessment in facilitating junior high school students to learn mathematics // *Computers & Education*. 2011. № 56(4). С. 1062–1071.
38. Harks B., Rakoczy K., Hattie J., Besser M., Klieme E. The Effects of feedback on achievement, interest and self-evaluation: The Role of feedback's perceived usefulness // *Educational Psychology*. 2014. № 34(3). С. 269–290. DOI: 10.1080/01443410.2013.785384.
39. Bellhäuser H., Loesch T., Winter C., Schmitz B. Applying a web-based training to foster self-regulated learning—Effects of an intervention for large numbers of participants // *The Internet and Higher Education*. 2016. № 3. С. 87–100. DOI: 10.1016/j.iheduc.2016.07.002
40. Майер Р.В. Кибернетическая педагогика: Имитационное моделирование процесса обучения. Глазов: Глазовский государственный педагогический институт имени В.Г. Короленко, 2014. 141 с.

References

1. Usova L.B., Shakirova D.U. Practice-oriented approach to the formation of the mathematical competence of students in the direction of training «Mathematics and Computer Science». *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Orenburg State University*. 2018; 1(213): 77–83. (In Russ.)
2. Malmqvist J., Edström K., Rosen A. CDIO Standards 3.0—Updates to the Core CDIO Standards. *Proceedings of the 16th International CDIO Conference*. 2020; 1: 60–76.
3. Chuchalin A.I., Gerasimov S.I. Competencies of graduates of engineering programs: national and international standards. *Vyssheye obrazovaniye v Rossii = Higher education in Russia*. 2012; 10: 3–14. (In Russ.)
4. Bronov S., Stepanova E., Pichkovskaya S., Sheluhin A., Panikarova N. Information technology in the educational program design. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 3. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/3/033066.
5. Yesin R.V., Kustitskaya T.A. Improving the effectiveness of teaching mathematics in an electronic environment through lectures-simulators. *Informatika i obrazovaniye = Informatics and Education*. 2019; 8(307): 32–39. DOI: 10.32517/0234-0453-2019-34-8-32-39. (In Russ.)
6. Vaynshteyn YU.V., Yesin R.V., Tsibul'skiy G.M. Model of educational content: from structuring concepts to adaptive learning. *Otkrytoye obrazovaniye = Open education*. 2021; 25; 1: 28–39. DOI: 10.21686/1818-4243-2021-1-4-28-39. (In Russ.)
7. Bortnik B.I., Stozhko N.YU., Sudakova N.P. Assessment of competencies: formalization and formalism. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education*. 2017; 4: 160. (In Russ.)
8. Leutner D., Fleischer J., Grünkorn J., Klieme E. Competence assessment in education: An

introduction. In Leutner D., Fleischer J., Grünkorn J., Klieme E. (ed.) *Competence assessment in education*. Cham: Springer; 2017: 1-6.

9. Zimnyaya I.A. Competence and competence in the context of the competence-based approach in education. *Uchenyye zapiski natsional'nogo obshchestva prikladnoy lingvistiki = Scientific notes of the National Society of Applied Linguistics*. 2013; 4: 16-31. (In Russ.)

10. Zeyer E.F. Modernization of vocational education: a competence-based approach. *Obrazovaniye i nauka = Education and Science*. 2004; 3(27): 42-52. (In Russ.)

11. Khutorskoy A.V. Methodological grounds for the application of the competence-based approach to the design of education. *Vyssheye obrazovaniye v Rossii = Higher education in Russia*. 2017; 12: 85-91. (In Russ.)

12. Aronov A.M., Znamenskaya O.V. On the concept of mathematical competence. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 20. Pedagogicheskoye obrazovaniye = Bulletin of Moscow University. Series 20. Pedagogical education*. 2010; 4: 31-43. (In Russ.)

13. Council Recommendation on key competences for lifelong learning. Official Journal of the European Union. 2018. 189 c. Режим доступа: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604\(01\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604(01)&from=EN).

14. Niss M., Højgaard T. Mathematical competencies revisited. *Educational Studies in Mathematics*. 2019; 102(1): 9-28.

15. Anisova T.L. Mathematical competence of bachelor-engineers: definition, categories, levels and their assessment. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya = International Journal of Experimental Education*. 2015; 11(4): 493-497. (In Russ.)

16. Binkley M., Erstad O., Herman J., Raizen S., Ripley M., Miller-Ricci M., Rumble M. Defining twenty-first century skills. In Griffin P. McGaw B., Care E. (ed.) *Assessment and teaching of 21st century skills*. Dordrecht: Springer. 2012: 17-66.

17. Baxter G.P., Glaser R. An approach to analyzing the complexity of science performance assessments. CSE Technical Report 452. Los Angeles, CA: CRESST, 1997. 33 p.

18. Szabo Z.K., Körtesi P., Guncaga J., Szabo D., Neag R. Examples of Problem-Solving Strategies in Mathematics Education Supporting the Sustainability of 21st-Century Skills. *Sustainability*. 2020; 12(23): 10113. DOI: 10.3390/su122310113.

19. Yesin R.V., Vaynshteyn Yu.V. Formirovaniye matematicheskoy kompetentnosti na osnove postroyeniya individual'noy obrazovatel'noy trayektorii v elektronnoy srede = Formation of mathematical competence based on the construction of an individual educational trajectory in an electronic environment. Krasnoyarsk: Siberian Federal University; 2021. 164 p. (In Russ.)

20. Polya G. *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*. Princeton: Princeton University Press; 2004. 280 p.

21. Bransford J.D., Stein B.S. *The IDEAL problem solver: A guide for improving thinking, learning, and creativity*. New York: W. H. Freeman and Company; 1993. 269 p.

22. Mayer R.E. *Thinking, problem solving, cognition*. New York: W. H. Freeman and Company; 1992. 580 p.

23. Dudyrev F.F., Maksimenkova O.V. Simulators and simulators in vocational education: pedagogical and technological aspects. *Voprosy obrazovaniya = Education Issues*. 2020; 3: 255-276. DOI: 10.17323/1814-9545-2020-3-255-276. (In Russ.)

24. Bakulina Ye.A. Features of the development and use of a test simulator in teaching bachelors of a pedagogical university. *Razvitiye sovremennogo obrazovaniya: ot teorii k praktike = Development of modern education: from theory to practice*. 2017: 260-265. (In Russ.)

25. Napalkov S.V. Electronic educational simulators in mathematics as an effective means of developing the cognitive activity of rural schoolchildren. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya = World of Science, Culture, Education*. 2012; 1(32): 99-101. (In Russ.)

26. Fedorova L.A. Development of simulators for the formation of the competencies of undergraduates in the implementation of online courses. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii = Modern science-intensive technologies*. 2018; 5: 230-234. (In Russ.)

27. Chini J., Straub C.L., Thomas K. Learning from Avatars: Learning Assistants Practice Physics Pedagogy in a Classroom Simulator. *Physical Review Physics Education Research*. 2016; 12(1): 10117. DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010117.

28. Zhukova N.V. Possibilities of using electronic test simulators in teaching physical chemistry. *Fundamental'nyye issledovaniya = Fundamental research*. 2013; 10(12): 2778-2781. (In Russ.)

29. Sednev V.A., Alyayev P.A. Electronic simulator pyrotechnics. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii = Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia*. 2019; 1: 113-120. (In Russ.)

30. Vasilenko N.P., Chabanova N.I. E-learning technology in the mathematical training of students oriented to work in the nuclear industry. *Global'naya yadernaya bezopasnost' = Global Nuclear Safety*. 2020; 1(34): 125-135. (In Russ.)

31. Belyauskene Ye.A., Imas O.N., Krivyakov S.V., Tsareva Ye.V. *Mathematics for Engineers: Searching for the Optimal Combination of Interactive and Traditional Methods*. *Vyssheye obrazovaniye v Rossii = Higher Education in Russia*. 2020; 29(7): 22-31. DOI: 10.31992/0869-3617-2020-29-7-22-31. (In Russ.)

32. Shirai S., Fukui T. Development and evaluation of a web-based drill system to master basic math formulae using a new interactive math input method. International Congress on Mathematical Software. 2014: 621-628. DOI: 10.1007/978-3-662-44199-2_93.
33. Arroyo I., Woolf B.P., Royer J.M., English S. Improving math learning through intelligent tutoring and basic skills training. Intelligent Tutoring Systems, 10th International Conference, ITS 2010 (Pittsburgh, PA, USA). 2010: 423-432. DOI: 10.1007/978-3-642-13388-6_46.
34. D'yachuk P.P., Shkerina L.V., Shadrin I.V., Peregudina I.P. Dynamic adaptive testing as a way of self-study of students in the electronic problematic environment of mathematical objects. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. VP Astaf'eva = Bulletin of the Krasnoyarsk State Pedagogical University named after VP Astafieva. 2018; 1: 48-59. DOI: 10.25146/1995-0861-2018-43-1-40. (In Russ.)
35. Boyev V.S., Golovkov A.O., Tolmachev A.R. Training simulator for solving differential equations. Sovremennyye dostizheniya molodezhnoy nauki = Modern achievements of youth science. 2020: 205-216. (In Russ.)
36. Aslanov R.M.O., Belyayeva Ye.V., Mukhanov S.A. Differential Equations Trainer Based on Wolfram CDF Player. Sibirskiy pedagogicheskiy zhurnal = Siberian Pedagogical Journal. 2015; 4: 26-30. (In Russ.)
37. Wang T.H. Implementation of Web-based dynamic assessment in facilitating junior high school students to learn mathematics. Computers & Education. 2011; 56(4): 1062-1071.
38. Harks B., Rakoczy K., Hattie J., Besser M., Klieme E. The Effects of feedback on achievement, interest and self-evaluation: The Role of feedback's perceived usefulness. Educational Psychology. 2014; 34(3): 269-290. DOI: 10.1080/01443410.2013.785384.
39. Bellhäuser H., Loesch T., Winter C., Schmitz B. Applying a web-based training to foster self-regulated learning—Effects of an intervention for large numbers of participants. The Internet and Higher Education. 2016; 3: 87-100. DOI: 10.1016/j.iheduc.2016.07.002.
40. Mayyer R.V. Kiberneticheskaya pedagogika: Imitatsionnoye modelirovaniye protsessa obucheniya = Cybernetic Pedagogy: Simulation of the Learning Process. Glazov: Glazov State Pedagogical Institute named after V.G. Korolenko; 2014. 141 p. (In Russ.)

Сведения об авторах

Татьяна Алексеевна Кустицкая

К.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности

Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Эл. почта: tkustitskaya@sfu-kras.ru

Роман Витальевич Есин

К.п.н., доцент кафедры прикладной математики и компьютерной безопасности

Институт космических и информационных технологий, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

Эл. почта: resin@sfu-kras.ru

Information about the authors

Tatiana A. Kustitskaya

Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Security

School of Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: tkustitskaya@sfu-kras.ru

Roman V. Esin

Cand. Sci. (Pedagogy), Associate Professor of Department of Applied Mathematics and Computer Security

School of Space and Information Technology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: resin@sfu-kras.ru

Моделирование параллельных бизнес-процессов

В статье рассматривается новый раздел современной теории бизнес-процессов, посвященный их параллельной обработке. Актуальность работы обусловлена необходимостью реорганизации бизнес-процессов с целью улучшения ряда их ключевых показателей, таких как скорость, стоимость и т.д.

Следует отметить, что известные модели и методы современной теории бизнес-процессов практически не затрагивают вопросы параллелизма в них, хотя в общей теории процессов такое направление занимает значительное место и, помимо собственно методов описания, анализа и верификации параллельных конструкций, включает также и методы распараллеливания последовательных конструкций.

В работе предлагается классификация параллельных бизнес-процессов, базирующаяся на типах параллельных вычислительных систем и полностью покрывающая рассматриваемую предметную область. Приведены примеры параллельных бизнес-процессов каждого типа. Для каждого из выделенных классов бизнес-процессов дается краткий обзор существующего положения дел в части параллелизма, выделяются и анализируются направления соответствующих работ. Даны краткие описания моделей и методов конвейерного и синхронного параллелизма.

В части асинхронного параллелизма предлагается модель и языковые средства организации параллельных независимых ветвей (процессов). В качестве соответствующей модели используется смешанный граф, содержащий узлы и ветви различных типов. Формализуется сценарий выполнения параллельного

бизнес-процесса. Для оценки времени выполнения параллельного бизнес-процесса адаптируются основополагающие теоремы теории вычислительных процессов с целью их ориентации на бизнес-процессы, даются рекомендации по правилам построения параллельных бизнес-процессов. Формулируются требования к языковым средствам описания асинхронных параллельных бизнес-процессов.

Далее рассматриваются методы распараллеливания бизнес-процессов, касающиеся его линейных участков и циклов. Вводятся определения линейного участка и цикла в бизнес-процессе. Для их распараллеливания ключевой является задача выявления информационных зависимостей между функциями бизнес-процесса. Внимание обращается на последовательность определений/использований информационных объектов, проявляющихся через входящие и исходящие информационные потоки для функциональных объектов соответствующего визуального языка моделирования. В терминах вышеупомянутого графа бизнес-процесса формализуются понятия информационной зависимости различных видов.

Предлагаемая работа является одной из первых попыток построения формальной базы организации параллелизма в бизнес-процессах, играющего важное значение для улучшения ключевых показателей бизнес-процессов в задачах их реорганизации.

Ключевые слова: бизнес-процесс, параллельный бизнес-процесс, конвейерный, синхронный и асинхронный параллелизм, распараллеливание бизнес-процесса.

Georgiy N. Kalyanov

Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Parallel Business Processes Modeling

The article considers a new section of the modern theory of business processes dedicated to their parallel processing. The relevance of the work is due to the need to reorganize business processes in order to improve a number of their key indicators, such as speed, cost, etc. It should be noted that the well-known models and methods of the modern theory of business processes practically do not address the issues of parallelism in them, although this direction occupies a significant place in the general theory of processes and, in addition to the actual methods of description, analysis and verification of parallel structures, also includes methods of parallelization of sequential structures.

The paper proposes a classification of parallel business processes based on the types of parallel computing systems and completely covering the subject area under consideration. Examples of parallel business processes of each type are given. For each of the selected classes of business processes, a brief overview of the current state of affairs in terms of parallelism is given; the directions of relevant work are identified and analyzed. Brief descriptions of models and methods of pipelined and synchronous parallelism are given.

In terms of asynchronous parallelism, a model and language tools for organizing parallel independent branches (processes) are proposed. A mixed graph containing nodes and branches of various types is used as the corresponding model. The scenario of executing a parallel business process is formalized. To estimate the execution time of a parallel

business process, the basic theorems of the theory of computational processes are adapted in order to focus them on business processes, recommendations are given on the rules for building parallel business processes. The requirements for the language tools for describing asynchronous parallel business processes are formulated.

Next, the methods of parallelization of business processes related to its linear sections and cycles are considered. The definitions of the linear section and the cycle in the business process are introduced. For their parallelization, the key task is to identify information dependencies between the functions of the business process. Attention is drawn to the sequence of definitions/uses of information objects, manifested through incoming and outgoing information flows for functional objects of the corresponding visual modeling language. In terms of the above-mentioned business process graph, the concepts of information dependence of various types are formalized.

The proposed work is one of the first attempts to build a formal basis for the organization of parallelism in business processes, which plays an important role in improving the key indicators of business processes in the tasks of their reorganization.

Keywords: business process, parallel business process, pipelined, synchronous and asynchronous parallelism, business process parallelization.

Введение

Современная теория бизнес-процессов (БП) [1] является одним из разделов теории процессов и базируется на таких направлениях математической теории программирования как формальные грамматики и языки; методы тестирования программно-го обеспечения (ПО); методы оптимизации, верификации, анализа и оценки качества ПО; теория баз данных и баз знаний; структурные и объектно-ориентированные методы анализа и проектирования и др. Основные направления и разделы теории бизнес-процессов рассмотрены в работах [2, 3], приведем здесь лишь их краткое перечисление:

- визуальные языки моделирования и графические модели БП,
- технологии моделирования,
- методы структурирования/декомпозиции,
- методы инжиниринга/реинжиниринга,
- методы анализа и верификации,
- методы перехода от моделей БП к требованиям по автоматизации БП.

Следует отметить, что включенные в вышеперечисленные разделы теории БП модели и методы практически не затрагивают вопросы параллелизма в БП, хотя в общей теории процессов такое направление занимает значительное место и, помимо собственно методов описания, анализа и верификации параллельных конструкций, включает также и методы распараллеливания последовательных конструкций.

Необходимо также заметить, что еще Хаммер и Чампи в [4] отмечали эффективность распараллеливания БП, например, отказ от линейности выполнения БП и переход к «естественному» (по сути — параллельному) порядку выполнения с целью резкого улуч-

шения их характеристик.

С другой стороны, параллелизм заложен в самой природе БП. Более того, такие механизмы синхронизации как семафоры Дейкстры, условные (критические) интервалы, мониторы и управляющие выражения [5] неформально присутствуют, например, в регламентах работы исполнителей с документами. Другое дело, что в языках моделирования БП подобные конструкции практически не используются, что исключает саму возможность исследования специфики параллельных БП.

Классификация видов параллелизма в БП

Для решения задач, связанных с параллелизмом, были выделены следующие классы БП, отражающие характер реализуемого параллелизма и основанные на известной классификации параллельных систем, предложенной Флинном [6]:

- ОКОД (Одиночный поток Команд и Одиночный поток Данных) — последовательные БП;
- МКМД (Множественный поток Команд и Множественный поток Данных) — асинхронные БП;
- ОКМД (Одиночный поток Команд и Множественный поток Данных) — синхронные (векторные) БП;
- МКОД (Множественный поток Команд и Одиночный поток Данных) — конвейерные или магистральные БП.

Данная классификация строится на понятиях потока данных и потока управления, являющихся основополагающими в современной теории БП, в частности, эти объекты являются ключевыми в языках моделирования БП.

Очевидно, что первый и второй классы в комментариях не нуждаются, соответствующие фрагменты имеются практически в любом БП. Конвей-

ерные и синхронные БП также встречаются достаточно часто. Классический пример конвейерного БП представляет собой процесс подготовки самолета (борта) к вылету: большое количество операций (техническое обслуживание, погрузка багажа, посадка пассажиров и т.д.) осуществляется над каждым экземпляром одного объекта. При этом исполнитель каждой из операций (бригада грузчиков, бригада механиков и т.д.) после выполнения своей операции переходит к следующему экземпляру объекта. Таким образом, над каждым из экземпляров одновременно могут выполняться различные операции, что и отражает суть конвейерного параллелизма.

Примером синхронного процесса является процесс написания отчета в крупной научной организации, которая выполняет государственные заказы, именуемые проектами. Каждый из проектов разбивается на темы, каждая из тем, в свою очередь, разделяется на работы, которые исполняются в рамках подразделений организации. По приказу руководства к определенному сроку в каждом из таких подразделений синхронно формируются отчеты по запланированным работам, далее руководители тем на их основе формируют (также синхронно) отчеты по темам, а затем руководители проектов — отчеты по проектам. Следует отметить, что могут иметься связи как между работами, так и между темами. Однако, это не противоречит концепции ОКМД-параллелизма, более того, такие возможности прямо заложены в архитектурные решения ОКМД-процессоров.

Направления работ в области параллелизма БП

Работы по проектированию и исследованию параллельных БП на современном этапе развиваются в двух направлениях:

создание визуальных языков, позволяющих описывать параллельные конструкции, и разработка методов распараллеливания описаний на традиционных языках визуального моделирования. В свою очередь, очевидно, что для решения первой задачи возможны два подхода — расширение существующих языков с целью их ориентации на параллельные БП и создание новых языков моделирования параллельных БП.

В качестве примеров параллельных расширений можно привести соответствующие конструкции в DFD-технологии [7] и языке UML [8]. В обоих случаях моделирование параллельного поведения сводится к описанию параллельных потоков управления и способов взаимодействия между ними с использованием аппарата конечных автоматов. В DFD-технологии такие потоки являются объектами диаграмм потоков управления CFD (Control Flow Diagrams) на верхнем уровне и диаграмм переходов состояний STD (State Transition Diagrams) на нижних уровнях, соответственно. В UML предусмотрен целый спектр специальных средств, предназначенных для более тонкого, детального и явного моделирования поведения при параллельном выполнении процесса (в данном случае — вычислительного). Однако и здесь применяются диаграммы переходов состояний за счет их расширения с использованием параллельных составных состояний и введения ряда дополнительных конструкций, таких как активное состояние, конфигурация активных состояний, область параллельного составного состояния, составной переход, синхронизирующее состояние [8].

Современные языки моделирования БП класса EML (Enterprise Modeling Languages) органично включают в себя средства моделирования па-

раллельных процессов, имеющие тот же уровень абстракции, что и все другие языковые средства. Так один из наиболее часто используемых языков данного класса BPMML, базирующийся на нотации BPMN [9], содержит такие конструкции как параллельное исполнение без синхронизации, параллельное исполнение с синхронизацией, координацию исполнения, а также ряд паттернов завершения, в совокупности реализующих соответствующие механизмы синхронизации.

В части создания новых языков для описания МКОД-параллелизма в [10] разработан язык моделирования конвейерных БП, описывающий процесс в виде ациклического ориентированного графа, вершинами которого могут быть функциональные операции или спусковые функции. Набор функциональных примитивов, позволяющих описывать конвейерные БП, включает такие конструкции как операция, линейный конвейер, функции мультиплицирования-редуцирования, конъюнкции-дизъюнкции, раздачи-приема и др.

Необходимо отметить, что конструкции всех без исключения вышеперечисленных языков моделирования параллельных БП имеют значительно более низкий уровень абстракции по сравнению с широко используемыми диаграммными техниками, такими как IDEF0, DFD и другие, и уже не способны играть роль языков «для передачи понимания», фактически являясь классическими языками проектирования и находясь с языками первого типа в соотношении «ассемблер — язык высокого уровня».

Заметим, что для ОКМД-параллелизма (синхронных БП) в настоящее время отсутствуют какие-либо языковые средства его организации. Однако, в качестве основы такого параллелизма могут быть ис-

пользованы результаты теории программирования в части организации векторных и матричных структур данных и методов их размещения и обработки, а также языков программирования векторных вычислений [11]. Для решения данной задачи необходимо соответствующее расширение информационных моделей БП (в частности, ERD), что выходит за рамки настоящей статьи.

Методы распараллеливания БП, включая распараллеливание их линейных участков и повторяющихся конструкций, представляют несомненный интерес для решения задач, связанных с их реорганизацией. Эффективность применения таких методов может превысить эффект от «горизонтального и вертикального уплотнения» [4] — двух наиболее эффективных механизмов реинжиниринга бизнес-процессов по Хаммеру и Чампи.

Параллельные языки

Модель и языковые средства организации параллельных независимых ветвей (процессов)

В качестве основы организации асинхронного параллелизма используем общую модель бизнес-процесса, приведенную в [12], которая представляет собой следующий граф управления бизнес-функциями:

$$G(N, \{n_0\}, \{n_\Phi\}, E, M, EM, EN, R, ER), \text{ где}$$

- N — множество узлов, каждый из которых соответствует бизнес-функции;
- $\{n_0\}$ и $\{n_\Phi\}$ — множества входных и завершающих узлов, соответственно;
- E — множество управляющих ребер такое, что $\forall n_i, n_j \in N \cup \{n_0, n_\Phi\}: (n_i, n_j) \in E$, если возможна ситуация, когда за выполнением бизнес-функции n_i будет выполняться бизнес-функция n_j ;

M – множество узлов, соответствующих структурным единицам предприятия (вплоть до роли конкретного исполнителя);

EM – множество ребер подчиненности такое, что $\forall m_i, m_j \in M: (m_i, m_j) \in EM$, если структурная единица m_i подчинена структурной единице m_j ;

EN – множество ребер исполнения бизнес-функции такое, что $\forall m_i \in M, n_j \in N: (m_i, n_j) \in EN$, если бизнес-функция n_j может быть выполнена в подразделении m_i ;

R – множество информационных объектов (ИО) предприятия;

ER – множество ребер использования ИО такое, что $\forall r_i \in R, n_j \in N: (r_i, n_j) \in ER$, если бизнес-функция n_j использует при своем выполнении ИО r_i или $(n_j, r_i) \in ER$, если бизнес-функция n_j определяет при своем выполнении ИО r_i .

Для описания сценария выполнения параллельного бизнес-процесса обозначим через P общее количество его исполнителей. Здесь и далее под исполнителями будем понимать нижний уровень подчиненности элементов множества M , которые пронумеруем от 1 до $m \leq |M|$, например, все инженеры получают номера от 1 до κ , все бухгалтера – от $\kappa + 1$ до n и т.д. Обозначим сценарий выполнения БП через $H_p = \{(n_i, P_i, t_i)\}$, где $n_i \in N$, P_i – номер исполнителя, t_i – время начала бизнес-функции.

Для уменьшения сложности задачи, не нарушая ее общности можно предположить, что

1) время выполнения любой бизнес-функции является одинаковым и равняется условной 1;

2) передача данных между ИО и использующими их функциями осуществляется без временных затрат.

Рассматриваемый сценарий H_p должен обладать следующими свойствами:

1) $\forall n_i, n_j \in N: t_i = t_j \Rightarrow P_i \neq P_j$, т.е. один и тот же исполнитель

не должен назначаться разным функциям в один и тот же момент времени;

2) $\forall (n_i, n_j) \in E \Rightarrow t_j \geq t_i + 1$, т.е. к назначаемому моменту выполнения функции предшествующая функция должна быть завершена;

По аналогии с [13] (где в качестве модели вычислений используется граф «операции-операнды») граф G бизнес-процесса вместе с множеством сценариев его выполнения $\{H_p\}$ может рассматриваться как модель БП, реализуемого P исполнителями – $A_p(G, H_p)$.

Время исполнения сценария определяется максимальным значением времени, применяемым в нем – $T_p(G, H_p) = \max_{n_i \in N} (t_i + 1)$. Минимальное время исполнения сценария задается как $T_p(G) = \min_{H_p} (T_p(G, H_p))$.

Для анализа максимально возможного параллелизма можно определить оценку наиболее быстрого исполнения (при использовании неограниченного количества исполнителей) – $T_\infty(G) = \min_{P \geq 1} (T_p)$. Оценка T_1 определяет время выполнения бизнес-процесса при использовании одного исполнителя (последовательный вариант решения задачи) – $T_1(G) = |N - \{n_0\}|$.

Ниже приведен ряд теорем из [14, 15], адаптированных для оценки времени выполнения бизнес-процесса.

Теорема 1. Минимально возможное время выполнения параллельного бизнес-процесса определяется длиной максимального его сценария, т.е. $T_\infty(G) = d(G)$, где d – диаметр (длина максимального пути) графа.

Теорема 2. Пусть для некоего завершающего узла n_ϕ существует путь из каждого входного узла n_0 . Кроме того, пусть входная степень узлов графа (количество входящих ребер) не превышает 2. Тогда минимально возможное время выполнения бизнес-процесса ограничено снизу значением

$T_\infty(G) = \log_2(n)$, где n – количество входных узлов.

Теорема 3. При уменьшении количества исполнителей время выполнения бизнес-процесса увеличивается пропорционально коэффициенту уменьшения количества исполнителей, т.е. $\forall q = cp, 0 < c < 1 \Rightarrow T_q \leq cT_p$.

Теорема 4. Для любого количества исполнителей справедлива следующая верхняя оценка для времени выполнения параллельного бизнес-процесса: $\forall p \Rightarrow T_p < T_\infty + T_1/p$.

Теорема 5. Времени выполнения бизнес-процесса, которое сопоставимо с минимально возможным временем T_∞ , можно достичь при количестве исполнителей порядка $p \sim T_1/T_\infty$, а именно $p \geq T_1/T_\infty \Rightarrow T_p \leq 2T_\infty$. При меньшем количестве исполнителей время выполнения не может превышать более чем в 2 раза наилучшее время выполнения при имеющемся количестве исполнителей, т.е. $p < T_1/T_\infty \Rightarrow T_1/p \leq T_p \leq 2T_1/p$.

Приведенные теоремы позволяют дать следующие рекомендации по правилам построения параллельных бизнес-процессов:

1) При выборе сценария должен использоваться граф с минимально возможным диаметром (теорема 1).

2) Для параллельного выполнения бизнес-процесса целесообразное количество исполнителей определяется величиной $p \sim T_1/T_\infty$ (теорема 5).

3) Время выполнения параллельного сценария ограничивается сверху величинами, приведенными в теоремах 4 и 5.

Языковые средства описания асинхронных параллельных бизнес-процессов семантически эквивалентны соответствующим средствам для вычислительных процессов данного класса. С позиции синтаксиса они должны лишь отличаться от других графических символов используемого

визуального языка моделирования, а также быть включены в множество терминальных символов порождающей сценарии грамматики бизнес-процесса и присутствовать в ее порождающих правилах. Эти средства разделяются на две группы [5]:

1) Языковые средства организации параллельных независимых ветвей — объявления ветвей, их инициации и завершения, а также механизмы их взаимодействия. Каждая ветвь должна быть описана как независимый подпроцесс, имеющий специальные конструкции для указания возможности его одновременного выполнения с другими подпроцессами.

2) Языковые средства синхронизации доступа к разделяемым ресурсам (семафоры Дейкстры, условные критические интервалы, мониторы, сентинелы и др.)

В качестве примера реализации этого механизма в грамматику бизнес-процесса [7, 16] было включено специальное множество символов, определяющих параллелизм, в простейшем случае состоящее из двух символов — апострофа над левой частью порождающего правила, означающего начало параллельных ветвей, и пустого символа над левой частью порождающего правила, означающего линейный переход к правой части правила.

Язык моделирования конвейерных БП

Структура конвейерного процесса описывается параллельно-последовательной схемой. Ступени такого конвейера выполняются последовательно, а операции одной ступени параллельно. Разработанная на основе такой схемы теория [17] позволяет вычислять основные характеристики конвейерного процесса и составлять его расписание. Расширение данного формализованного класса процессов приведено в [10],

где описаны конвейерные процессы, определяемые рекурсивными функциями. Процесс описывается расписанием выполнения операций, в котором время завершения каждой операции вычисляется с помощью рекурсивной функции вида

$$f_k^n = R(f_{k-1}^n, f_k^p, \dots, f_k^q, t_n),$$

где

n — номер операции конвейера,

k — номер выполняемого цикла,

t_n — время выполнения операции с номером n ,

f_k^n — время завершения выполнения операции n на k -м цикле,

$p, \dots, q$ — номера операций, непосредственно предшествующих операции с номером n ,

R — некоторая рекурсивная функция.

Модель конвейерного процесса [10] представляет собой ациклический ориентированный граф, в котором вершины ассоциируются с исполняемыми операциями или спусковыми функциями, определяющими порядок выполнения операций, а дуги определяют отношения предшествования. Основными элементами соответствующего графического языка (диаграммы конвейера) являются следующие объекты:

- линейная операция (аналог объекта «активность» в IDEF0), идентифицируемая уникальным именем и имеющая атрибут, определяющий ее продолжительность во времени;

- спусковая функция AND, интерпретируемая следующим образом: выполнение следующей за ней операции начинается после того как завершится выполнение двух предшествующих ей операций;

- функция мультиплицирования операций, определяющая, что после выполнения предшествующей ей операции последующая операция выполняется m раз;

- функция редуцирования операций, определяющая, что последующая операция начинается выполняться после того как m раз выполнится предшествующая ей операция;

- функция раздачи, имитирующая одноименный процесс;

- функция приема, имитирующая одноименный процесс и являющаяся обратной по отношению к функции раздачи.

В [10] показано, что в общем случае конвейерный процесс сначала находится в переходном режиме, а затем принимает стационарный режим, в котором представляет собой колебательный процесс, т.е. описывается периодической функцией. Для таких процессов возможно вычисление следующих характеристик: времени завершения нулевого цикла конвейера; номера цикла, с которого начинается стационарный процесс; времени начала стационарного процесса; частоты колебаний интервала конвейера в стационарном режиме; амплитуды изменения интервала конвейера в стационарном режиме. При этом вычисление характеристик осуществляется за время $o(n)$, где n — количество объектов диаграммы модели.

Методы распараллеливания БП

Как упоминалось выше, методы распараллеливания БП включают распараллеливание их линейных участков и повторяющихся конструкций (циклов).

Назовем узел $n_i \in N$ непосредственным предшественником узла $n_j \in N$, если $\exists(n_i, n_j) \in E$. Соответственно, n_j будет являться непосредственным последователем n_i .

Определим *линейный участок* на графе бизнес-процесса G как маршрут (сценарий) $(n_k, \dots, n_l)$, где

- начальный узел n_k имеет более одного непосредствен-

ного предшественника или у его непосредственного предшественника имеется более одного непосредственного последователя;

- конечный узел n_i имеет более одного непосредственного последователя или у его непосредственного предшественника;

- остальные узлы имеют ровно по одному непосредственному предшественнику и последователю.

Будем считать циклом БП любую повторяющуюся последовательность его бизнес-функций. Определим *цикл* на графе бизнес-процесса G как маршрут (сценарий) $(n_k, \dots, n_l)$, если $\exists(n_l, n_k) \in E$.

Примерами циклов в БП являются процесс обработки входящей корреспонденции, где в качестве итерации выступает последовательность функций обработки каждого из писем, или процесс согласования договора, где в качестве итерации выступает последовательность функций согласования конкретного договора с участниками согласования (юристом, бухгалтером и др.).

Основной задачей при распараллеливании линейных участков и циклов является задача выявления информационных зависимостей между его бизнес-функциями. Внимание обращается на последовательность определений / использований ИО, проявляющихся,

например, через входящие и исходящие информационные потоки на DFD – диаграмме потоков данных. При этом, не нарушая общности, будем считать, что исследуемые ИО являются элементарными объектами.

Обозначим через I_i множество всех входных потоков бизнес-функции, а через O_i – множество всех ее выходных потоков. Тогда требования *информационной независимости* двух бизнес-функций могут быть записаны следующим образом:

$$I_j \cap O_i = \emptyset$$

$$I_i \cap O_j = \emptyset$$

$$O_i \cap O_j = \emptyset$$

Или в терминах графа $G \forall k, m$:

$$\{(r_k, n_j) \in ER\} \cap \{(n_l, r_m) \in ER\} = \emptyset$$

$$\{(r_k, n_i) \in ER\} \cap \{(n_l, r_m) \in ER\} = \emptyset$$

$$\{(n_l, r_k) \in ER\} \cap \{(n_l, r_m) \in ER\} = \emptyset$$

В свою очередь вводятся следующие виды информационной зависимости:

1) Если $\exists x \in R: x \in O_i \wedge x \in I_j$, то говорят, что между функциями i и j существует *потокоточная* или *истинная зависимость*, что обозначается как $i\delta_j$.

2) Если $\exists x \in R: x \in I_i \wedge x \in O_j$, то говорят, что между функциями i и j существует *антизависимость* ($i\bar{\delta}_j$).

3) Если $\exists x \in R: x \in O_i \wedge x \in O_j$, то говорят, что между функциями i и j существует *зависимость по выходу* ($i\delta_j$).

4) Если $\exists x \in R: x \in I_i \wedge x \in I_j$, то говорят, что между функ-

циями i и j существует *зависимость по входу* ($i\delta_{aj}$).

Все зависимости в БП можно представить в виде графа зависимостей по данным, вершины которого соответствуют функциям БП, а ребра различных типов – соответствующим отношениям зависимости (при этом зависимость по входу не играет существенной роли в анализе зависимостей и может быть исключена из данного графа).

Собственно, исходя из этих требований и строятся алгоритмы распараллеливания линейных участков и циклов (например, в работах [5], [18]), при этом для циклов анализируется информационная зависимость между его итерациями. Примером такой зависимости является вышеприведенный процесс согласования договора в случае, когда договор проходит ролевое согласование несколько раз.

Следует отметить, что распараллеливание цикла может быть осуществлено как в сторону его конвейеризации, так и в сторону векторизации. Так процесс обработки входящей корреспонденции может быть реализован как в виде конвейера, где каждый сотрудник выполняет одну функцию при обработке писем (прием, регистрация и т.д.), так и в виде векторной конструкции, где каждый сотрудник выполняет все функции процесса по одному письму.

Литература

1. Калянов Г.Н. О теории бизнес-процессов // Программная инженерия. 2018. Т. 9. № 3. С. 99–109.
2. Калянов Г.Н. Теория бизнес-процессов: формальные модели и методы // Экономика, статистика и информатика. 2016. № 4. С. 19–21.
3. Калянов Г.Н. Модели и методы теории бизнес-процессов // Открытое образование. 2015. № 6. С. 4–9.
4. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. N.Y.: Harper-Collins, 1993.

5. Трахтенгерц Э.А. Программное обеспечение параллельных процессов. М.: Наука, 1987.
6. Хокни Р., Джессхоуп К. Параллельные ЭВМ. М.: Радио и связь, 1987.
7. Калянов Г.Н. Концептуальная модель DFD-технологии // Открытое образование. 2017. № 4. С. 21–26.
8. Громов Ю.Ю., Иванова О.Г., Беляев М.П., Данилкин С.В. Методы и средства проектирования информационных систем. Объектно-ориентированный подход. Тамбов, 2013.
9. Федоров И.Г. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN 2.0. М.: МЭСИ, 2013.

10. Куприянов Б.В. Метод эффективного анализа модели рекурсивного конвейерного процесса // Автоматика и телемеханика. 2017. № 3. С. 63–79.

11. Разбегин В.П., Калянов Г.Н., Куприянов Б.В. Система программирования векторных вычислений // Программирование. 1985. № 4. С. 25–32.

12. Калянов Г.Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов. М.: СИНТЕГ, 2000.

13. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений. М.: ИНТУИТ, 2007.

14. Bertsecal D.P., Tsitsiklis J.N. Paralleled and Distributed Computation. Numerical Methods. N.J.: Prentice Hall, 1989.

15. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002.

16. Калянов Г.Н., Куприянов Б.В., Лукинова О.В. Адаптация DFD-технологии при моделировании бизнес-систем в среде РДС // Открытое образование. 2019. № 23(2). С. 61–68.

17. Воеводин В.В. Математическая модель конвейерных вычислений. М.: Наука, 1982.

18. Векторизация программ: теория, методы, реализация. М.: Мир, 1991.

19. Карпов В.Е. Введение в распараллеливание алгоритмов и программ // Компьютерные

исследования и моделирование. 2010. Т. 2. № 3. С. 231–272.

20. Марлей В.Е. и др. Автоматизация распараллеливания программ на основе информационных связей // Программные продукты и системы. 2005. № 1. С. 2–6.

21. Jordan H. F., Alaghand F. Fundamentals of Parallel Processing. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ 07452, 2003.

22. Wilkinson B., Allen M. Parallel programming techniques and applications using networked workstations and parallel computers. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ 07452, 2005.

23. Афанасьев К.Е. Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2003.

24. Немнюгин С.А., Стесик О.Л. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2002.

25. Костенко В.А. К вопросу об оценке оптимальной степени параллелизма // Программирование. 1995. № 4. С. 24–28.

26. Бочаров Н.В. Технологии и техника параллельного программирования // Программирование. 2003. № 1. С. 5–23.

References

1. Kalyanov G.N. On the theory of business processes. Programmnyaya inzheneriya = Software engineering. 2018; 9; 3: 99–109. (In Russ.)

2. Kalyanov G.N. Business Process Theory: Formal Models and Methods. Ekonomika, statistika i informatika = Economics, Statistics and Informatics. 2016; 4: 19–21. (In Russ.)

3. Kalyanov G.N. Models and methods of the theory of business processes. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2015; 6: 4–9. (In Russ.)

4. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York: Harper-Collins; 1993.

5. Trakhtengerts E.A. Programmnoye obespecheniye parallel'nykh protsessov = Parallel process software. Moscow: Nauka; 1987. (In Russ.)

6. Khokni R., Dzheskhoup K. Parallel'nyye EVM = Parallel computers. Moscow: Radio and communication; 1987. (In Russ.)

7. Kalyanov G.N. Conceptual model of DFD technology. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2017; 4: 21–26. (In Russ.)

8. Gromov YU.YU., Ivanova O.G., Belyayev M.P., Danilkin S.V. Metody i sredstva proyektirovaniya informatsionnykh sistem. Ob'yektno-orientirovanny podkhod = Methods and tools for designing information systems. Object oriented approach. Tambov; 2013. (In Russ.)

9. Fedorov I.G. Modelirovaniye biznes-protsessov v notatsii BPMN 2.0 = Modeling business processes

in BPMN 2.0 notation. Moscow: MESI; 2013. (In Russ.)

10. Kupriyanov B.V. A method for effective analysis of a model of a recursive conveyor process. Avtomatika i telemekhanika = Automation and Remote Control. 2017; 3: 63–79. (In Russ.)

11. Razbegin V.P., Kalyanov G.N., Kupriyanov B.V. Vector computing programming system. Programirovaniye = Programming. 1985; 4: 25–32. (In Russ.)

12. Kalyanov G.N. Teoriya i praktika reorganizatsii biznes-protsessov = Theory and practice of business process reorganization. Moscow: SINTEG; 2000. (In Russ.)

13. Gergel' V.P. Teoriya i praktika parallel'nykh vychisleniy = Theory and practice of parallel computing. Moscow: INTUIT; 2007. (In Russ.)

14. Bertsecal D.P., Tsitsiklis J.N. Paralleled and Distributed Computation. Numerical Methods. New Jersey: Prentice Hall; 1989.

15. Voevodin V.V., Voevodin V.I.V. Parallel'nyye vychisleniya = Parallel computing. Saint Petersburg: BHV-Petersburg; 2002. (In Russ.)

16. Kalyanov G.N., Kupriyanov B.V., Lukinova O.V. Adaptation of DFD technology in modeling business systems in the RDS environment. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2019; 23(2): 61–68. (In Russ.)

17. Voevodin V.V. Matematicheskaya model' konveyernykh vychisleniy = Mathematical model of pipeline calculations. Moscow: Nauka; 1982. (In Russ.)

18. Vektorizatsiya programm: teoriya, metody, realizatsiya = Vectorization of programs: theory, methods, implementation. Moscow: Mir; 1991. (In Russ.)
19. Karpov V.Ye. Introduction to Parallelization of Algorithms and Programs. Komp'yuternyye issledovaniya i modelirovaniye = Computer Research and Modeling. 2010; 2; 3: 231–272. (In Russ.)
20. Marley V.Ye. et al. Automation of parallelization of programs based on information links. Programmnyye produkty i sistemy = Software products and systems. 2005; 1: 2-6. (In Russ.)
21. Jordan H. F., Alaghband F. Fundamentals of Parallel Processing. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ 07452, 2003.
22. Wilkinson B., Allen M. Parallel programming techniques and applications using networked workstations and parallel computers. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, NJ 07452, 2005.
23. Afanas'yev K.Ye. Mnogoprotsessornyye vychislitel'nyye sistemy i parallel'noye programmirovaniye = Multiprocessor computing systems and parallel programming. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat; 2003. (In Russ.)
24. Nemnyugin S.A., Stesik O.L. Parallel'noye programmirovaniye dlya mnogoprotsessornykh vychislitel'nykh system = Parallel programming for multiprocessor computing systems. Saint Petersburg: BHV-Petersburg; 2002. (In Russ.)
25. Kostenko V.A. On the question of evaluating the optimal degree of parallelism. Programmirovaniye = Programming. 1995; 4: 24–28. (In Russ.)
26. Bocharov N.V. Technologies and techniques of parallel programming. Programmirovaniye = Programming. 2003; 1: 5–23. (In Russ.)

Сведения об авторе

Георгий Николаевич Калянов

Д.т.н., профессор, г.н.с.

*Институт проблем управления РАН,
Москва, Россия*

Эл. почта: Kalyanov@mail.ru

Information about the author

Georgiy N. Kalyanov

Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher

*Institute of Control Sciences of Russian Academy of
Sciences Moscow, Russia*

E-mail: Kalyanov@mail.ru

Совершенствование процесса управления инцидентами на основе прецедентного подхода

Целью исследования является совершенствование процесса управления инцидентами. В статье рассмотрен процессный подход к управлению инцидентами при технических сбоях и его основные стадии: обнаружение, реагирование, расследование, устранение, резолюция. На стадиях реагирования и расследования инцидента, а также его устранения имеет место актуальная проблема, заключающаяся в нарушении сроков принятых в Соглашении об уровне услуг (SLA).

Проведен сравнительный анализ показателей до и после применения предложенного прецедентного подхода. Предложенный алгоритм с использованием базы прецедентов, позволяет снизить количество инцидентов, которые возвращаются на доработку, а также снизить количество инцидентов, срок разрешения которых выходит за рамки принятых согласно SLA.

Научная новизна заключается в применении аппарата прецедентного анализа для обработки инцидентов в службе технической поддержки.

Материалы и методы. Для разрешения вышеописанной проблемы, связанной с нарушением сроков обработки инцидентов принятых в SLA, в статье рассмотрен подход к совершенствованию процесса управления инцидентами на основе прецедентного анализа инцидентов. Применение аппарата прецедентного анализа представляет собой цикл рассуждений на основе прецедентов. По значению степени подобия инциденту выбирается конкретный прецедент и связанный с ним сценарий принятия решения. Метод правдоподобных рассуждений позволяет в качестве интегрированного средства автоматизации решить проблему множественных эскалаций и как следствие снизить число нарушений сроков разрешения инцидентов. Данный подход позволяет повысить эффективность поиска схожих сценариев реагирования на инциденты. Для сравнения и извлечения прецедентов используется метод ближайшего соседа. Данный метод не требует больших вычислительных затрат и обеспечивает требуемую степень достоверности (ошибочности) принятого

решения. Применение метода ближайшего соседа основано на расчете степени близости текущей ситуации к прецедентам, сохраненным в базе прецедентов.

Результаты. Предложенный подход позволил разработать новый алгоритм классификации инцидентов в информационной системе на базе прецедентного и статистического анализа, обеспечивающий снижение сроков реагирования и устранения инцидентов. Проведен анализ статистических данных, сделана оценка эффективности в результате применения алгоритма, основанного на прецедентном анализе. Оценка показала значительное снижение ненужных эскалаций инцидентов на вторую линию поддержки, таким образом, использование базы прецедентов при разрешении инцидентов позволило совершенствовать процесс управления инцидентами.

Заключение. В ходе проведенного исследования выявлена основная проблема в процессе управления инцидентами — нарушение сроков принятых в SLA. Проведен анализ базового алгоритма управления инцидентами. Обосновано применение метода правдоподобных рассуждений и метода ближайшего соседа. Рассмотрен цикл обновления базы прецедентов и концептуальная модель процесса управления инцидентами. В рамках разработанной концептуальной модели база прецедентов включает в себя решения, принятые экспертами, где используются знания предыдущего опыта для выхода из той или иной ситуации. Реализован алгоритм поиска решения в базе прецедентов. Отличительной особенностью разработанного алгоритма является использование алгоритма распознавания прецедента и поиск похожих образов, содержащихся в базе прецедентов, с использованием метода ближайшего соседа.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, прецедент, инцидент, служба технической поддержки, прецедентный анализ.

Andrei A. Mikryukov, Aleksina V. Kuular

Russian University of Economics named G.V. Plekhanova, Moscow, Russia

Improving the Incident Management Process Based on a Use Case Approach

The purpose of the study is to improve the incident management process. The article considers the process approach to incident management in case of technical failures and its main stages: detection, response, investigation, elimination, resolution. At the stages of response and investigation of the incident, as well as its elimination, there is an urgent problem, which is the violation of the deadlines adopted in the Service Level Agreement (SLA).

A comparative analysis of the indicators before and after the application of the proposed use case approach is carried out. The proposed algorithm, applying the base of use cases, allows reducing the number of incidents that are returned for revision, as well as reduce the number of incidents, the resolution period of which exceeds the limits accepted according to the SLA.

The scientific novelty lies in the use of the case analysis device for incident processing in the technical support service.

Materials and methods. To solve the above problem related to the violation of the deadlines for processing incidents accepted in the

SLA, the article considers an approach to improving the incident management process based on the use case analysis of incidents. The use of the case analysis device is a cycle of reasoning based on use cases. By the value of the degree of similarity to the incident, a specific use case and the associated decision-making scenario are selected. The method of plausible reasoning allows us to solve the problem of multiple escalations as an integrated automation tool and, as a result, reduce the number of violations of the deadlines for resolving incidents. This approach allows you to increase the efficiency of finding similar scenarios for responding to incidents. The nearest neighbor method is used to compare and extract use cases. This method does not require large computational costs and provides the required degree of reliability (error) of the decision. The application of the nearest neighbor method is based on calculating the degree of proximity of the current situation to the use cases stored in the base of use cases.

Results. The proposed approach allowed us to develop a new algorithm for classifying incidents in the information system based on the use

case and statistical analysis, which reduces the response time and eliminates incidents. The analysis of statistical data is carried out; the efficiency is estimated as a result of the application of the algorithm based on the use case analysis. The assessment showed a significant reduction in unnecessary escalations of incidents to the second support line, so the application of the base of use cases in resolving incidents allowed for improving the incident management process.

Conclusion. In the course of the study, the main problem in the incident management process was identified - violation of the deadlines adopted in the SLA. The basic incident management algorithm is analyzed. The application of the method of plausible reasoning and the nearest neighbor method is justified. The cycle of

updating the base of use cases and the conceptual model of the incident management process are considered. Within the framework of the developed conceptual model, the base of use cases includes decisions made by experts, which use the knowledge of previous experience to get out of a particular situation. An algorithm for finding a solution in the base of use cases is implemented. A distinctive feature of the developed algorithm is the application of a use case recognition algorithm and the search for similar images contained in the base of use cases using the nearest neighbor method.

Keywords: automated information system, use case, incident, technical support service, use case analysis.

Введение

На практике в деятельности предприятий возникают ситуации, которые мешают нормальному ходу производственных и управленческих процессов. Примерами служат: поломка оборудования, отказ в работе любой из информационных систем, сбой технического и другого характера. При возникновении подобных инцидентов в службе технической поддержки предприятия используется автоматизированная система управления инцидентами (АСУИ). В этой системе собирается вся информация об инцидентах, когда-либо поступавших в службу технической поддержки от пользователей услуги. Пользователи могут быть как внешними, так и внутренними (в рамках самого предприятия). У каждого регистрируемого инцидента в АСУИ имеется карточка инцидента, содержащая всю исчерпывающую информацию по нему: тип инцидента, где обнаружен, приоритет, статус, время обнаружения, кем обнаружен, время реагирования, масштаб, описание инцидента, ориентировочное время разрешения и т.д. Большое количество таких данных позволяет провести качественный анализ предоставляемой услуги, найти проблемные моменты, предпринять меры по недопущению повторных инцидентов.

С учетом сказанного, в статье речь идет об инцидентах, связанных с проблемами в функционировании некоего

сервиса, техническими сбоями в рамках этого сервиса, прерывании услуги, ее доступности, бесперебойности. При возникновении сбоя пользователи услуги обращаются в службу технической поддержки и в АСУИ фиксируется инцидент. Специалистами технической поддержки используется база знаний, которая содержит наиболее частые случаи подобных инцидентов. Конкретный частный случай инцидента получил название прецедента.

В ходе функционирования АСУИ возникают проблемы при работе с инцидентами, и в первую очередь – проблема с оперативным реагированием на инциденты. Служба технической поддержки с использованием специальных систем мониторинга может отслеживать процесс снижения уровня сервиса, но делать это становится сложнее из-за того, что ИТ-инфраструктура постоянно совершенствуется и развивается в зависимости от масштабов бизнеса, следствием чего являются новые инциденты. При этом необходимо отметить, что возникающие инциденты могут не иметь формального решения, каждый инцидент может быть индивидуальным.

1. Анализ базового алгоритма управления инцидентами

Проведенный анализ показал, что существуют различные АСУИ, но алгоритм управления инцидентами остается одинаковым. Базовый алгоритм управления инцидентами представлен на рис. 1 и вклю-

чает следующие этапы [1]:

1. Выявление инцидента и информирование – на данном этапе выявить инцидент может как система мониторинга (если она есть на предприятии), так и конечный пользователь услуги, обнаруживший недоступность в работе услуги или ее некорректную работу.

2. Регистрация инцидента – на данном этапе инцидент регистрируется в АСУИ, он классифицируется, определяется масштаб влияния, в зависимости от масштаба влияния присваивается приоритет.

3. Поиск решения в базе знаний – по зафиксированным в карточке инцидента данным производится поиск решения в базе знаний.

4. Эскалация – при отсутствии решения в базе знаний инцидент направляется в работу экспертам.

5. Разрешение инцидента – эксперты дают заключение, производятся работы по устранению инцидента.

6. Резолюция/закрытие инцидента – инцидент решен, конечный пользователь информируется (при необходимости) об устранении инцидента.

Анализ реализации такого алгоритма показал, что у первой линии технической поддержки, которая взаимодействует с пользователями напрямую, возникает нехватка времени и необходимость выполнения сложного поиска ответа в базе знаний, а также имеет место проблема маршрутизации большинства обращений на вторую линию,

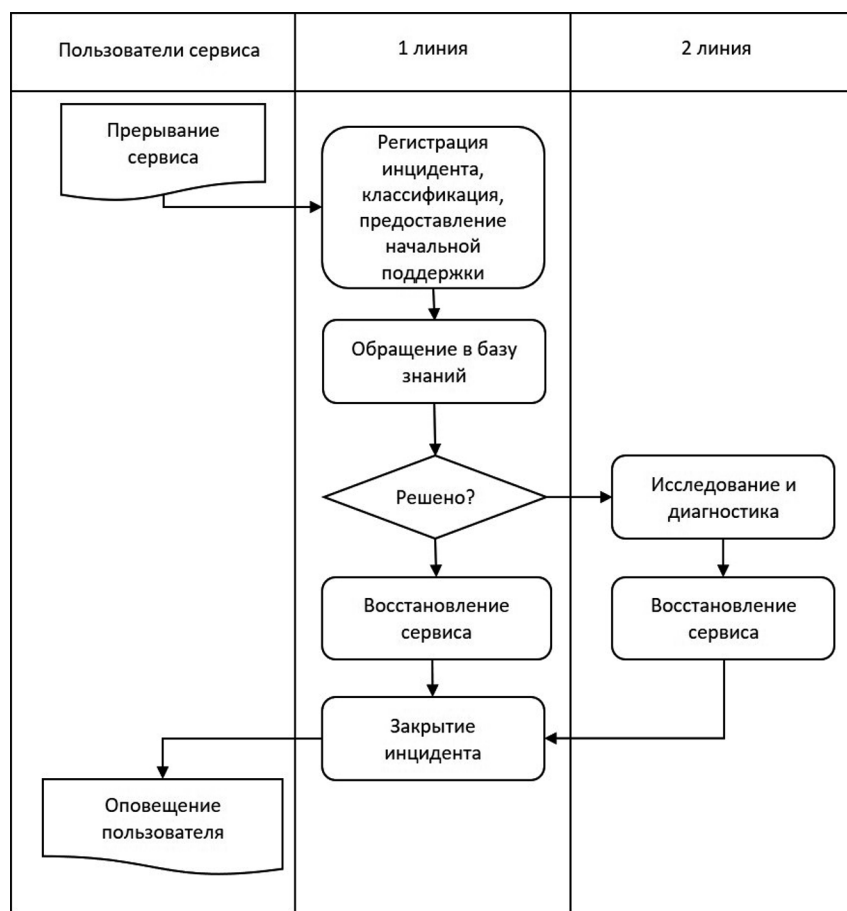


Рис. 1. Базовый алгоритм управления инцидентами

Fig. 1. Basic incident management algorithm

что отрицательно сказывается на качестве функционирования первой линии поддержки, которая должна закрывать большую часть всех поступающих обращений. Из-за большого количества эскалаций достаточно часто возникают просроченные инциденты. С учетом вышеизложенного выявленную проблему предложено решить с использованием подхода на основе прецедентного анализа инцидентов.

2. Предложения по совершенствованию управления инцидентами

Вывод на основе прецедентов (Case-Based Reasoning – CBR) является подходом, позволяющим решить новую, неизвестную задачу, используя или адаптируя решение уже известной задачи. Таким образом, реализуется многократное

использование накопленных знаний. В системах, основанных на прецедентах, поиск решения проблемы базируется на понятии аналогии (поиск

от частого к частному). Рассуждение на основе аналогий определяется как метод вывода, позволяющий обнаружить подобие между несколькими заданными объектами и благодаря переносу знаний, справедливых для одних объектов, на основе этого подобия определить способ решения задачи или предсказать неизвестные факты [2].

Метод правдоподобных рассуждений позволяет в качестве интегрированного средства автоматизации решить проблему множественных эскалаций и как следствие снизить число нарушений сроков разрешения инцидентов. Данный подход позволяет повысить эффективность поиска схожих сценариев реагирования на инциденты. В случае, если ответ в базе знаний не найден, то система обращается к базе прецедентов за поиском аналогичного решения. На рис. 2 представлена концептуальная модель процесса управления инцидентами в АСУИ.

В рамках разработанной концептуальной модели база прецедентов включает в себя решения, принятые экспертами, где используются знания предыдущего опыта для выхода из той или иной ситуации. Она

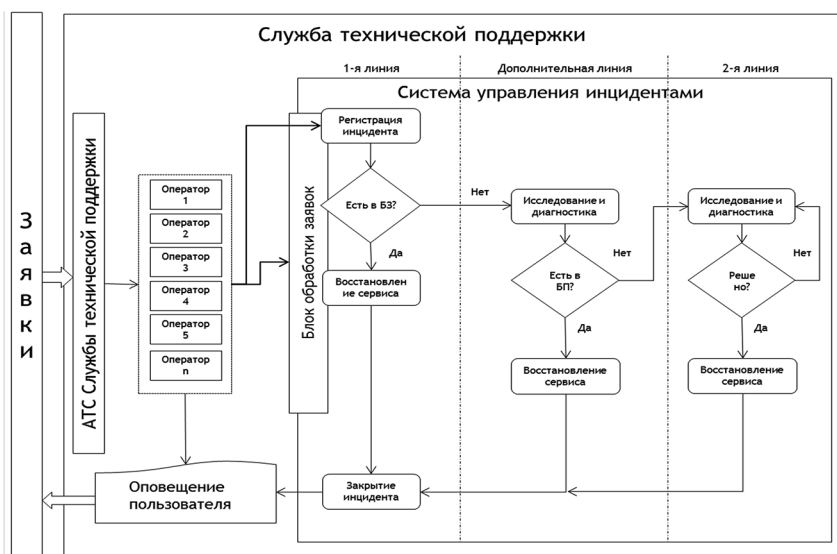


Рис. 2. Концептуальная модель процесса управления инцидентами

Fig. 2. Conceptual model of the incident management process

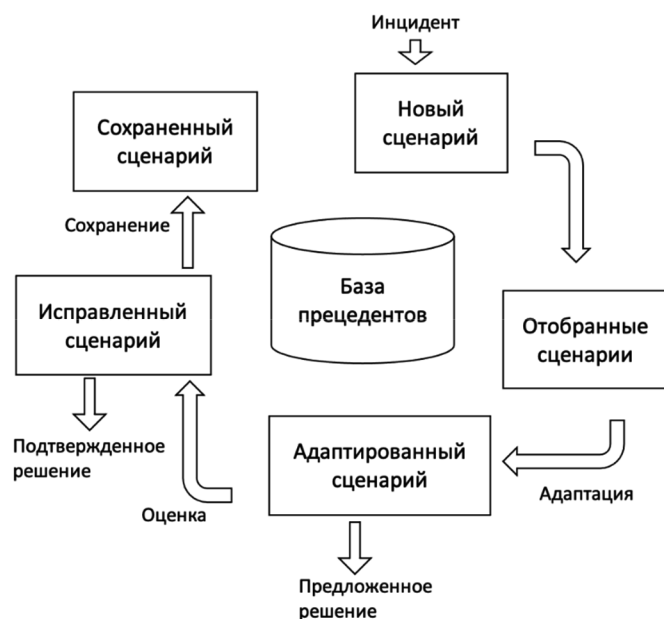


Рис. 3. Цикл обновления базы прецедентов

Fig. 3. Cycle of updating the base of use cases

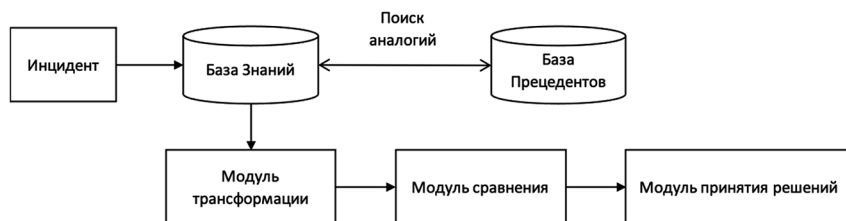


Рис. 4. Модель прецедентного анализа инцидентов

Fig. 4. A model of the use case analysis of incidents

представляет собой описание проблемы или ситуации в совокупности с подробным указанием действий, предпринимаемых в данной ситуации или для решения данной проблемы.

База прецедентов постоянно обновляется экспертами, схематически примерный циклический процесс обновления приведен на рис. 3.

На рис. 4 представлена модель прецедентного анализа инцидентов, которая включает в себя следующие компоненты и процессы: база знаний, модуль трансформации зарегистрированных инцидентов в соответствии с базой прецедентов, модуль выявления сходства между инцидентами и прецедентами, модуль принятия решений, определяется результат трансформации и выявления сходства. В случае

сходства одного инцидента хотя бы с одним прецедентом на выходе получаем готовое решение для инцидента, иначе для разрешения инцидента необходим углубленный анализ с участием специалиста.

Представленные на рис. 4 компоненты выполняют следующие функции [3]:

1) база знаний содержит структурированные данные для поиска информации для устранения инцидентов;

2) модуль трансформации преобразует зарегистрированные инциденты в соответствии с базой прецедентов;

3) модуль сравнения служит для выявления сходства между инцидентами и прецедентами, происходит расчет сходства инцидентов и прецедентов;

4) в модуле принятия решений определяется результат

трансформации и сравнения, если инциденту соответствует один или несколько прецедентов, тогда на этот случай будет уже готовый сценарий разрешения инцидента, в противном случае, возникают так называемые аномалии, для решения которых, необходим более углубленный анализ с участием человека;

5) база прецедентов содержит прецеденты с описанными сценариями.

Математическая модель прецедентного анализа отражает функцию подобия, позволяющую определить степень сходства инцидента и прецедентов. Формально прецедент может быть представлен выражением:

$$CASE = (x_1, x_2, \dots, x_p, R),$$

где $x_1, x_2, \dots, x_p$ — параметры, описываемой данным прецедентом; R — одно или несколько решений инцидента. Извлечение прецедентов основано на определении функции подобия F , значение которой определяет степень схожести прецедента и текущей ситуации. В пространстве признаков определяется точка, соответствующая целевой проблеме, и в рамках используемой метрики выбирается ближайший прецедент. Формально аналогия прецедента $g = x_{g1}, x_{g2}, \dots, x_{gp}$ и инцидента $k = x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kp}$ описывается функцией вида [4]:

$$SIM(g, k) = F(sim(x_{g1}, x_{k1}), \dots, sim(x_{gp}, x_{kp}))$$

где $sim(x_{g1}, x_{k1})$ — локальная схожесть значений i -го признака прецедента g и i -го признака инцидента k . Функция F выражает степень схожести прецедента с инцидентом.

С учетом событий, которых нет в базе прецедентов, прецедентный анализ сводится к классификации инцидентов на нормальные и аномальные, исходя из количества найденных аналогий:

$G = \{g_1, \dots, g_n\}$ — множество прецедентов;

$g = (x_1, \dots, x_p, r)$ – единичный прецедент;

$K = \{K_1, \dots, K_m\}$ – множество зарегистрированных инцидентов;

$k_j = (x_1, \dots, x_p)$ – единичный инцидент;

$F(g_i, k_j)$ – функция подобия;

$G_i = \{g_i: F(g_i, k_j) \leq d_{lim}\}$ – множество подобных прецедентов.

Таким образом, условие отнесения инцидента к множеству прецедентов формулируется следующим выражением: $k_j \in G \Leftrightarrow G_i \geq p_{lim}$, результат классификации напрямую зависит от предельного расстояния d_{lim} и предельного количества аналогий p_{lim} .

Возможность применения прецедентного анализа и его автоматизация при реализации различных стратегий реакции позволяет накапливать базу прецедентов, что впоследствии сокращает время поиска решения при последующих аналогичных сценариях инцидентов.

Формально определим базу прецедентов в следующем виде [5]:

$$BP = \{<K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_m>\},$$

где: $<K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_m>$ – множество классов прецедентов;

Формальное описание класса прецедентов может быть представлено в следующем виде:

$$K_i = \{<P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n>, do\}$$

где: $K_i, i \in [1, m]$ – наименование класса i -го прецедента;

$P_j, j \in [1, n]$ – множество прецедентов;

do – совокупность настроек подсистемы.

Тогда формальное описание с использованием рассуждений на основе прецедентов может быть представлено следующим образом:

$$PS = <BP, A(p), I^p>,$$

где: BP – база прецедентов;

$A(p)$ – алгоритм определения похожести прецедентов p ;

I^p – интерпретатор прецедентов.

Интерпретатор I^p , используя алгоритм $A(p)$, обрабатывает информацию, хранящуюся в базе прецедентов BP и представляет совокупность процессов:

$$I^p = <I^{p1}, I^{p2}, I^{p3}, I^{p4}>,$$

где: I^{p1} – обнаружение; I^{p2} – адаптация; I^{p3} – пересмотр; I^{p4} – сохранение.

Известны следующие методы поиска прецедентов [5]: метод ближайшего соседа, метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений, метод извлечения прецедентов на основе знаний, метод извлечения прецедентов с учетом их применимости.

Для сравнения и извлечения прецедентов предложено использовать метод ближайшего соседа. Данный метод не требует больших вычислительных затрат и обеспечивает требуемую степень достоверности (ошибочности) принятого решения. Применение метода ближайшего соседа основано на расчете степени близости текущей ситуации к прецедентам, сохраненным в базе прецедентов. При помощи Евклидовой метрики, согласно которой, используя значения параметров текущей ситуации в качестве координат точки (ситуации) вычисляется расстояние до каждого прецедента как до такой же точки с координатами в виде значений параметров и выбирается прецедент, расстояние до которого минимально по отношению к текущей ситуации.

3. Алгоритмическая реализация задачи поиска прецедента

Алгоритм поиска прецедента разработан путем декомпозиции задачи на три составляющие:

1. Выбор формы представления прецедента: структура прецедента имеет следующие части – описание проблемы, причины возникновения, воз-

можный риск, решение, результат и затрачиваемые ресурсы.

2. Формирование базы прецедентов: строится с использованием существующего хранилища информации о предметной области.

3. Поиск решения по прецедентам – алгоритм распознавания прецедента и поиск похожих образов, содержащихся в базе прецедентов, с использованием метода ближайшего соседа.

Входными данными для разработанного алгоритма извлечения прецедентов из базы прецедентов с использованием евклидовой метрики являются [6, 7]:

1. Текущие значения параметров инцидента x_i^j ;

2. BP – непустое множество прецедентов;

3. $W = \{w_1, w_2, \dots, w_i, \dots, w_n\}$ – веса (коэффициенты важности) параметров, определяемые экспертами;

4. $L = \{l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n\}$ – предпочтения ЛПП на выборку пула прецедентов по параметрам;

5. M – количество прецедентов в базе прецедентов;

6. R – допустимый уровень ошибки.

Выходные данные: множество прецедентов H , у которых значение уровня ошибки r меньше допустимого уровня ошибки R .

Пошаговый алгоритм извлечения прецедента имеет вид:

Шаг 1. $H = \emptyset, j = 1$ и переход к следующему шагу.

Шаг 2. Если $j \leq M$, то выбор прецедента P_j из множества $BP(P_j \in BP)$ и переход к шагу 3, иначе переход к шагу 5, если все прецеденты исчерпаны.

Шаг 3. Расчет расстояния ΔS по евклидовой метрике между выбранным прецедентом P_j и текущей ситуацией P_j^* с учетом коэффициентов важности параметров и ограниченный требуемых ЛПП [7]:

$$\Delta S = \left(\sum_{i=1}^n (w_i \times SIM(x_i^j, x_i^k) \times l_i) \right) / \sum_{i=1}^n w_i,$$

где: $SIM(x_i^l, x_i^k)$ – функция схожести;

x_i^l, x_i^k – значения i -го параметра в текущем l и прошлом k прецедентах соответственно;

Степень сходства прецедентов x_i^l, x_i^k вычисляется по формуле:

$$SIM(x_i^l; x_i^k) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i^l - x_i^k)^2}$$

Шаг 4. Извлечение прецедента из базы прецедентов. Если у извлеченного прецедента значение ошибки $r < R$, то данный прецедент P_j добавляется к результирующему множеству $H(P_j \in H)$, т.е. прецедент извлекается из базы прецедентов. Далее, после операции увеличения счетчика $j = j + 1$ переход к шагу 2.

Шаг 5. Если $H = \emptyset$, то прецеденты для текущей проблемной ситуации не найдены и переход к шагу 7 с выдачей сообщения для специалиста, что для текущих значений инцидента не обнаружено ошибок выше заданного R . Иначе переход к следующему шагу 6, если прецеденты для текущей ситуации успешно исчерпаны.

Шаг 6. Сортировка найденных прецедентов по степени сходства с текущей ситуацией и представление специалисту.

Шаг 7. Завершение алгоритма.

На рис. 5 представлен алгоритм поиска прецедентов:

На основе разработанного подхода построен алгоритм управления инцидентами в службе технической поддержки предприятия, представленный на рис. 6.

К отличительным особенностям алгоритма относится введение дополнительной линии поддержки за счет распределения задач 1-й линии, разгрузки обязанностей 2-й линии. Она не требует выделения дополнительных специалистов, достаточно задействовать часть специалистов из 1-й линии. Дополнительная линия поддержки использует базу прецедентов, где ре-

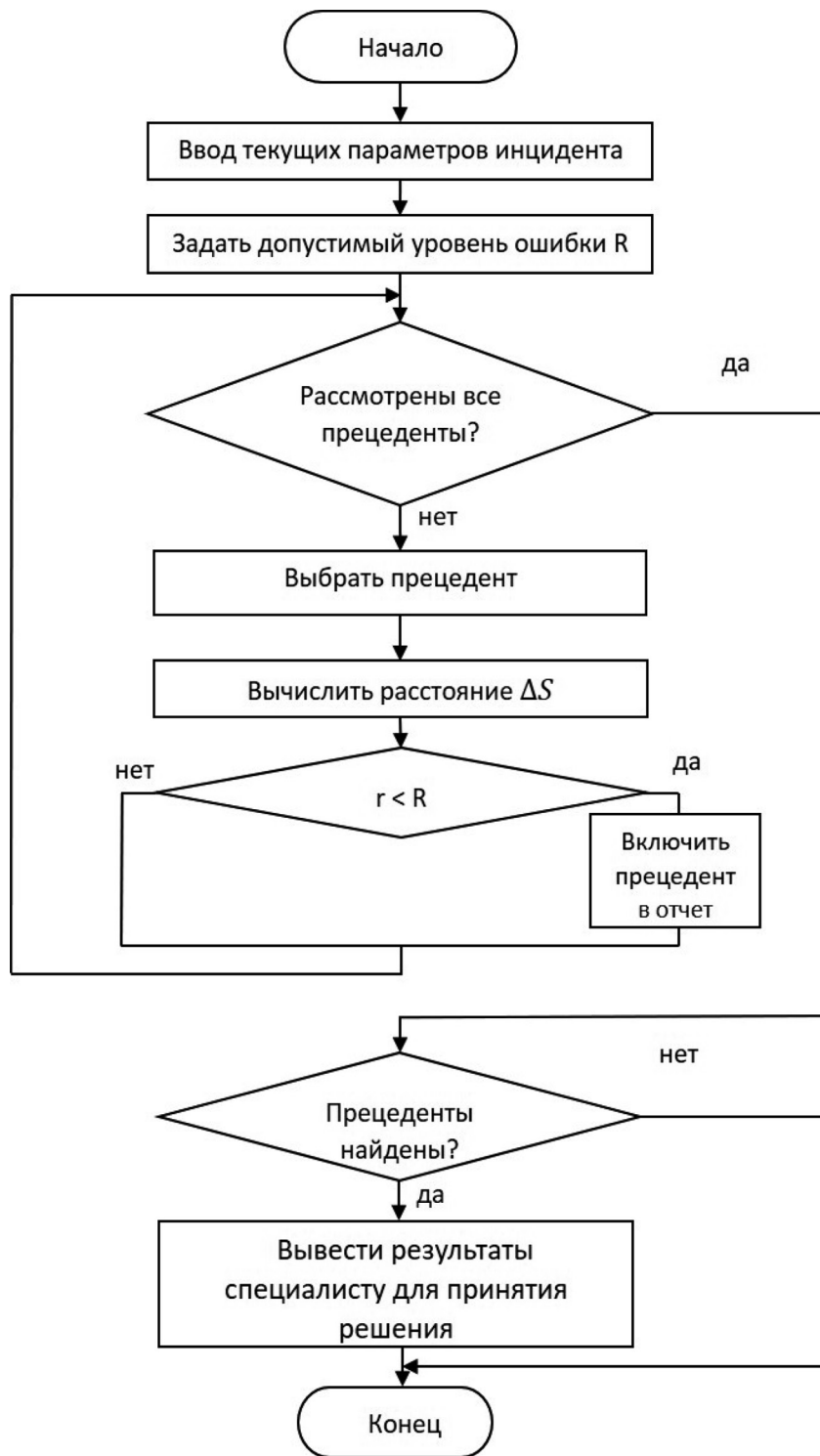


Рис. 5. Обобщенный алгоритм поиска прецедентов

Fig. 5. Generalized algorithm to search use cases

шаются вопросы, которые не были решены на первом этапе обработки инцидента при обращении пользователя. Апробация предложенного подхода показала, что время обработки инцидента существенно сокращается, а также повышается качество расследова-

ния инцидента благодаря базе прецедентов, обновляемой экспертами.

На рис. 7 представлены результаты сравнительного анализа управления инцидентами на основе разработанного и существующего подходов. Применение разработанного

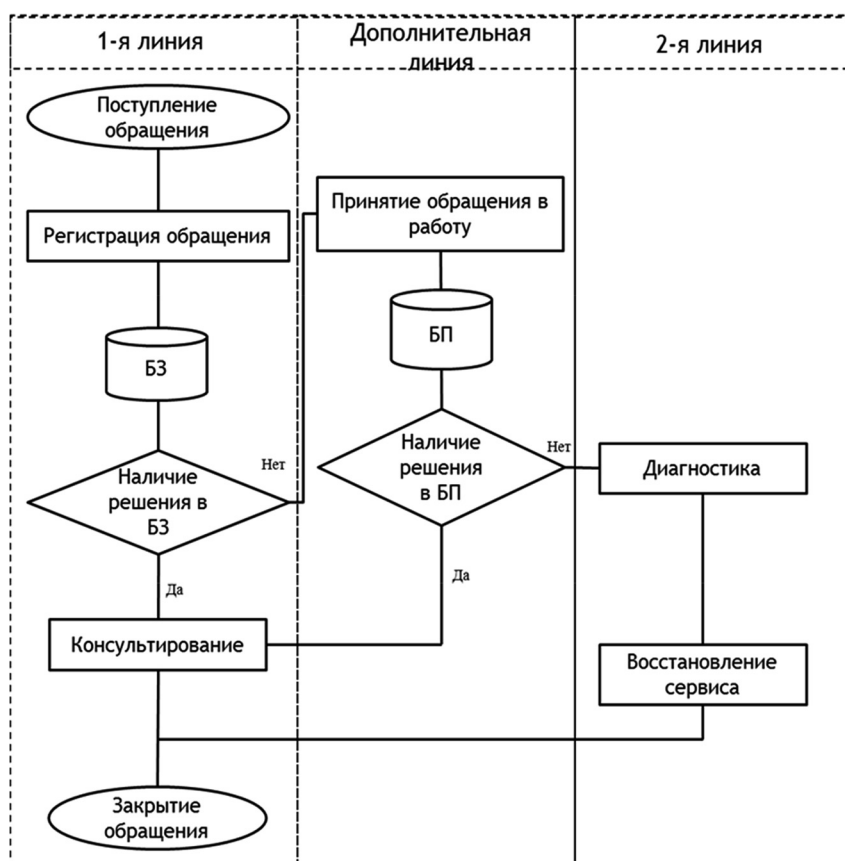


Рис. 6. Алгоритм управления инцидентами с учетом прецедентного подхода

Fig. 6. Algorithm of incident management taking into account the use case approach

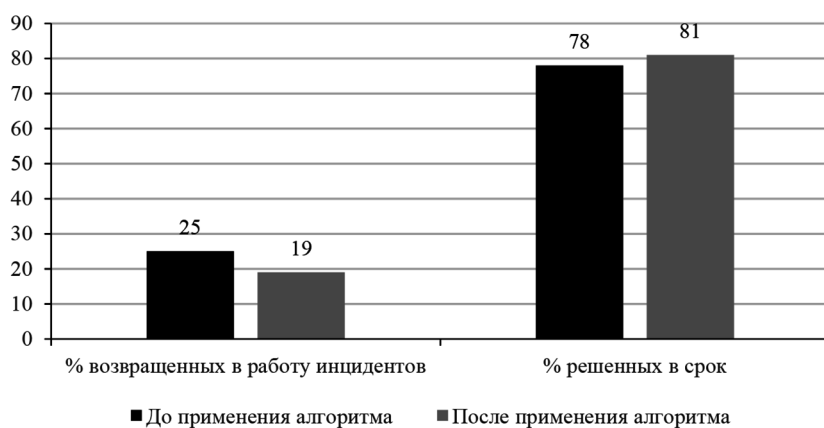


Рис. 7. Сравнительный анализ показателей эффективности применения алгоритма на базе прецедентного подхода с существующим подходом

Fig. 7. Comparative analysis of the efficiency indicators of the algorithm application based on the use case approach with the existing approach

подхода позволило повысить процент инцидентов, разрешенных в срок (согласно SLA) на 24% и уменьшить процент, возвращенных в работу инцидентов на 3,85%.

Заключение

В статье предложен подход на основе прецедентного анализа для совершенствования процесса управления инцидентами в автоматизированной системе управления инцидентами. Разработана концептуальная модель управления инцидентами, отличительной особенностью которой, является использование прецедентного подхода для поиска решения. Разработан алгоритм поиска прецедентов на основе метода ближайшего соседа, обеспечивающего необходимую степень достоверности (ошибочности) принятого решения и не требующего больших вычислительных затрат. Разработан алгоритм управления инцидентами в службе технической поддержки, отличающийся от существующего тем, что в базовый алгоритм обработки инцидента включена дополнительная линия, которая позволяет производить поиск решения на основе базы прецедентов, если инцидент не был решен на первой линии технической поддержки.

Разработанные предложения обеспечивают повышение эффективности процесса управления инцидентами, позволяют сократить срок обработки заявок, а также уменьшить количество инцидентов, возвращаемых на доработку.

Литература

1. Ян В. Б. ИТ Сервис-менеджмент. Вводный курс на основе ITIL. Издатель: Van Haren Publishing, по заказу ITSMF Netherlands. 303 с.
2. Жуков В.Г. Прецедентный анализ информационной безопасности // Вестник СибГАУ. 2013. № 2. С. 19–23.
3. Шаляпин А.А. Модельно-алгоритмическое обеспечение системы прецедентного анализа инцидентов информационной безопасности // Решетневские чтения. 2015. С. 304–306.
4. Берман А. Ф. Концепция построения прецедентной экспертной системы // Материалы XII Международной научной конференции по вычислительной механике и современным при-

кладным программным системам. Владимир, 2003. Ч. 2. С. 110–111.

5. Микрюков А.А., Усцелемов В.Н. Построение подсистемы информационной безопасности на основе прецедентного подхода // Научное обозрение. 2013. № 12. С.227–230.

6. Микрюков А.А., Усцелемов В.Н. Модель оценки степени риска информационных угроз в инфокоммуникационных системах на основе нейро-нечеткого вывода // Научное обозрение. 2013. № 12. С. 219–222.

7. Микрюков А.А., Усцелемов В.Н. Гибридная модель оценки рисков в информационных системах // Прикладная информатика. 2014. № 1(49). С. 50–55.

References

1. Yan V. B. IT Service Management. Introductory course based on ITIL. Publisher: Van Haren Publishing, commissioned by ITSMF Netherlands. 303 p.

2. Zhukov V.G. A precedent analysis of information security. Vestnik SibGAU = Bulletin of SibGAU. 2013; 2: 19-23. (In Russ.)

3. Shalyapin A.A. Model-algorithmic support of the system of precedent analysis of information security incidents. Reshetnevskiy chteniye = Reshetnevskie chteniye. 2015: 304-306. (In Russ.)

4. Berman A. F. The concept of constructing a precedent expert system. Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po vychislitel'noy mekhanike i sovremennym prikladnym programmnyy sistemam = Materials of the XII International Scientific Conference

on Computational Mechanics and Modern Applied Programming Systems. Vladimir; 2003;2: 110–111. (In Russ.)

5. Mikryukov A.A., Ustselemov V.N. Building an information security subsystem based on a precedent approach. Nauchnoye obozreniye = Scientific Review. 2013; 12: 227-230. (In Russ.)

6. Mikryukov A.A., Ustselemov V.N. A model for assessing the degree of risk of information threats in infocommunication systems based on neuro-fuzzy inference. Nauchnoye obozreniye = Scientific Review. 2013; 12: 219-222. (In Russ.)

7. Mikryukov A.A., Ustselemov V.N. Hybrid model of risk assessment in information systems. Prikladnaya informatika = Applied Informatics. 2014; 1(49): 50-55. (In Russ.)

Сведения об авторах

Андрей Александрович Микрюков

к.т.н., доцент кафедры Прикладной информатики и информационной безопасности
Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова,
Москва, Россия
Эл. почта: mikryukov.aa@rea.ru

Алексина Владимировна Куулар

старший специалист АО «ЦПЛ»,
аспирант кафедры Прикладной информатики
и информационной безопасности
Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова,
Москва, Россия
Эл. почта: kuularalexa@mail.ru

Information about the authors

Andrei A. Mikryukov

Ph.D., Associate Professor of the Department of
Applied Informatics and Information Security
Russian University of Economics named G.V.
Plekhanova
Moscow, Russia
E-mail: mikryukov.aa@rea.ru

Aleksina V. Kuular

Senior Specialist Joint-Stock Company «Loyalty
Program Center», graduate student of the Department
of Applied Informatics and Information Security
Russian University of Economics named G.V.
Plekhanova
Moscow, Russia
E-mail: kuularalexa@mail.ru