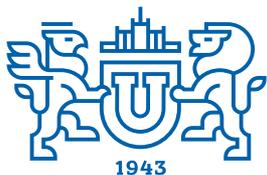


ВЕСТНИК



ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

2022
Т.22, № 3

ISSN 1991-976X (Print)
ISSN 2409-6571 (Online)

СЕРИЯ

«КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УПРАВЛЕНИЕ, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА»

Решением ВАК России включен в Перечень рецензируемых научных изданий

Учредитель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Журнал освещает новые научные достижения и практические разработки ученых по актуальным проблемам компьютерных технологий, управления и радиоэлектроники.

Основной целью издания является пропаганда научных исследований в следующих областях:

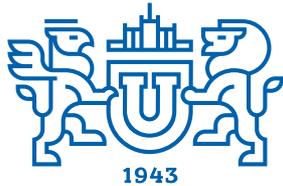
- Автоматизированные системы управления в энергосбережении
- Автоматизированные системы управления технологическими процессами
- Антенная техника
- Инфокоммуникационные технологии
- Информационно-измерительная техника
- Навигационные приборы и системы
- Радиотехнические комплексы
- Системы автоматизированного управления предприятиями в промышленности
- Системы управления летательными аппаратами

Редакционная коллегия:

Логиновский О.В., д.т.н., проф., засл. деятель науки РФ (*гл. редактор*) (г. Челябинск);
Бурков В.Н., д.т.н., проф., засл. деятель науки РФ (*зам. гл. редактора*) (г. Москва);
Голлай А.В., д.т.н., доц. (*зам. гл. редактора*) (г. Челябинск);
Захаров В.В., *отв. секретарь* (г. Челябинск);
Баркалов С.А., д.т.н., проф. (г. Воронеж);
Березанский Л., PhD, проф. (г. Беэр-Шева, Израиль);
Джапаров Б.А., д.т.н., проф. (г. Астана, Казахстан);
Затонский А.В., д.т.н., проф. (г. Пермь);
Куликов Г.Г., д.т.н., проф., засл. деятель науки РФ (г. Уфа);
Мазуров В.Д., д.ф.-м.н., проф. (г. Екатеринбург);
Максимов А.А., д.т.н. (г. Новокузнецк);
Мельников А.В., д.т.н., проф. (г. Ханты-Мансийск);
Прангишвили А.И., д.т.н., проф. (г. Тбилиси, Грузия);
Щепкин А.В., д.т.н., проф. (г. Москва);
Ячиков И.М., д.т.н., проф. (г. Магнитогорск)

Редакционный совет:

Шестаков А.Л., д.т.н., проф. (*председатель*) (г. Челябинск);
Авербах И., PhD, проф. (г. Торонто, Канада);
Браверман Е., PhD, проф. (г. Калгари, Канада);
Дегтярь В.Г., д.т.н., проф., чл.-корр. РАН (г. Миасс, Челябинская обл.);
Казаринов Л.С., д.т.н., проф. (г. Челябинск);
Кибалов Е.Б., д.э.н., проф. (г. Новосибирск);
Новиков Д.А., д.т.н., проф., чл.-корр. РАН (г. Москва);
Панферов В.И., д.т.н., проф. (г. Челябинск);
Слинько А., PhD, проф. (г. Окленд, Новая Зеландия);
Столбов В.Ю., д.т.н., проф. (г. Пермь);
Танана В.П., д.ф.-м.н., проф. (г. Челябинск);
Ухоботов В.И., д.ф.-м.н., проф. (г. Челябинск);
Ушаков В.Н., д.ф.-м.н., проф., чл.-корр. РАН (г. Екатеринбург);
Шестаков И., д.ф.-м.н., проф. (г. Сан-Паулу, Бразилия);
Ширяев В.И., д.т.н., проф. (г. Челябинск);
Шнайдер Д.А., д.т.н., проф. (г. Челябинск);
Штессель Ю., PhD, проф. (г. Хантсвилл, Алабама, США)



BULLETIN

OF THE SOUTH URAL
STATE UNIVERSITY

2022

Vol. 22, no. 3

SERIES

“COMPUTER TECHNOLOGIES,
AUTOMATIC CONTROL,
RADIO ELECTRONICS”

ISSN 1991-976X (Print)
ISSN 2409-6571 (Online)

Vestnik Yuzhno-Ural'skogo Gosudarstvennogo Universiteta.
Seriya “Komp'yuternye Tekhnologii, Upravlenie, Radioelektronika”

South Ural State University

The journal covers new scientific achievements and practical developments of scientists on actual problems of computer technologies, control and radio electronics.

The main purpose of the series is information of scientific researches in the following areas:

- Automated control systems in energy saving
- Automated process control
- Antenna technique
- Communication technologies
- Information and measuring equipment
- Navigation devices and systems
- Radio engineering complexes
- Computer-aided management of enterprises in industry
- Control systems of aircrafts

Editorial Board:

Loginosvkiy O.V., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Honored Worker of Science of the Russian Federation (*editor-in-chief*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Burkov V.N., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Honored Worker of Science of the Russian Federation (*deputy editor-in-chief*), Institute of Control Sciences named by V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;

Gollai A.V., Dr. of Sci. (Eng.), Ass. Prof. (*deputy editor-in-chief*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Zakharov V.V., *executive secretary*, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Barkalov S.A., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Voronezh State Technical University Voronezh, Russian Federation;

Berezansky L., PhD, Prof., Ben Gurion University of the Negev, Israel;

Dzhaparov B.A., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Archive of the President of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan;

Zatonskiy A.V., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Honored Worker of Science and Education of the Russian Federation, Berezniki Branch of the Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia;

Kulikov G.G., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Honored Worker of Science of the Russian Federation, Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation;

Mazurov V.D., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation;

Maksimov A.A., Dr. of Sci. (Eng.), Open Joint Stock Company ‘Kuznetsk Ferroalloys’, Novokuznetsk, Russian Federation;

Melnikov A.V., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Ugra Research Institute of Information Technologies, Khanty-Mansiysk, Russian Federation;

Prangishvili A.I., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Corresponding Member of National Academy of Sciences of Georgia, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia;

Shchepkin A.V., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;

Yachikov I.M., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Magnitogorsk State Technical University of G.I. Nosov, Magnitogorsk, Russian Federation.

Editorial Council:

Shestakov A.L., Dr. of Sci. (Eng.), Prof. (*chairman*), South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Averbakh I., PhD, Prof., University of Toronto, Canada;

Braverman E., PhD, Prof., St. Mary's University, Calgary, and Athabasca University, Department of Science, Athabasca, Canada;

Degtyar' V.G., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Member Correspondent of the Russian Academy of Sciences, Academician V.P. Makeyev State Rocket Centre, Miass, Chelyabinsk region, Russian Federation;

Kazarinov L.S., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Kibalov E.B., Dr. of Sci. (Econ.), Prof., Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation;

Novikov D.A., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Member Correspondent of the Russian Academy of Sciences, Institute of Control Sciences named by V.A. Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation;

Panferov V.I., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Russian Air Force Military Educational and Scientific Center “Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin”, Chelyabinsk branch, Chelyabinsk, Russian Federation;

Slinko A., PhD, Prof., University of Auckland, New Zealand;

Stolbov V.Yu., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation;

Tanana V.P., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Ukhobotov V.I., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Ushakov V.N., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., Member Correspondent of the Russian Academy of Sciences, N.N. Krasovskiy Institute of Mathematics and Mechanics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation;

Shestakov I., Dr. of Sci. (Phys. and Math.), Prof., São Paulo University, Brazil;

Shiryayev V.I., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Schneider D.A., Dr. of Sci. (Eng.), Prof., South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation;

Shtessel Yu., PhD, Prof., Huntsville, Alabama, USA.

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и вычислительная техника

ЛОГИНОВСКИЙ О.В., КОВАЛЬ М.Е., ШИНКАРЕВ А.А. Применение метода идеальной точки для поиска наилучшего способа аутентификации в корпоративных информационных системах	5
НИКОЛАЕВ И.Е., МЕЛЬНИКОВ А.В. Сравнение нейросетевых моделей на архитектуре трансформеров в контексте задачи оценки компактности векторных представлений семантически близких текстов требований европейской классификации навыков ESCO	19
АРТЮШИНА Л.А., ТРОИЦКАЯ Е.А. Некоторые подходы к оценке информативности параметров идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе поведенческой биометрии	30
КАМАЛОВА Ю.Б., АНДРИЯНОВ Н.А. Распознавание микроскопических изображений пыльцевых зерен с помощью сверточной нейронной сети VGG-16	39
ЛЕГАСHEВ Л.В., БОЛОДУРИНА И.П., ГРИШИНА Л.С., ЛАШНЕВА И.А., СЕРМЯГИН А.А. Прогнозирование количественных характеристик молока на основе инфракрасной спектроскопии с применением методов машинного обучения	47

Управление в технических системах

ЗАТОНСКИЙ А.В., ВАРЛАМОВА С.А., ФЕДОСЕЕВА К.А. Улучшение компьютерного распознавания параметров пены калийных флотомашин за счет учета антибликов пузырей	57
КОСТЫЛЕВА Л.Ю. Моделирование нестационарной теплопередачи в многослойной биметаллической пластине	68

Управление в социально-экономических системах

ЛОГИНОВСКИЙ О.В., ГОЛЛАЙ А.В., ШЕСТАКОВ А.Л., КОРЕННАЯ К.А. Развитие умных технологий в управлении регионами России в современных условиях	80
ДРАНКО О.И., ОКЛАДНИКОВ С.М., БЛАГОДАРНЫЙ Е.В. Управление региональным развитием с использованием двухуровневой модели «отрасль – предприятие»	93
БАРКАЛОВ С.А., АНАНЬЕВ А.В., ИВАННИКОВ К.С., МОИСЕЕВ С.И. Алгоритм и методы принятия управленческих решений на основе теории латентных переменных в условиях временных ограничений	106
ГАБДУЛИН Р.Р., ЛЯСКОВСКАЯ Е.А., КОРОВИН А.М., РЕЦ Е.А. Прогнозирование спроса на рынке дорожно-строительной техники с использованием инструментов интеллектуального анализа данных	117
АВЕРИНА Т.А., АВДЕЕВА Е.А., КУРБАТОВА Т.М. О создании системы антикризисного управления на предприятии в условиях неопределенности	132

Автоматизированные системы управления технологическими процессами

ОСИНЦЕВ К.В., КУСКАРБЕКОВА С.И. Разработка автоматизированной системы управления для учебного лабораторного стенда	141
--	-----

Краткие сообщения

HOLLAY A.V., TASHKIN A.O. The intellectual support efficiency methods evaluation in the sphere of social infrastructure accessibility managing for low-mobile population groups	151
ФЕДОСЕЕВ С.А., ГОРБУНОВ Д.Л. Модель прогнозирования муниципального рынка труда	163

CONTENTS

Informatics and computer engineering

LOGINOVSKIY O.V., KOVAL M.E., SHINKAREV A.A. Using the ideal point method to search the best authentication method in corporate information systems	5
NIKOLAEV I.E., MELNIKOV A.V. Comparison of transformer architecture neural network models based on evaluating the vector representation compactness of semantically similar texts in the European classification skills ESCO	19
ARTYUSHINA L.A., TROITSKAYA E.A. Some approaches to assessing the informative of user identification parameters by keyboard handwriting based on behavioral biometrics	30
KAMALOVA Yu.B., ANDRIYANOV N.A. Recognition of microscopic images of pollen grains using the convolutional neural network VGG-16	39
LEGASHEV L.V., BOLODURINA I.P., GRISHINA L.S., LASHNEVA I.A., SERMYAGIN A.A. Prediction of milk quantitative traits based on infrared spectroscopy using machine-learning methods	47

Control in technical systems

ZATONSKIY A.V., VARLAMOVA S.A., FEDOSEEVA K.A. Improvement of computer recognition of foam parameters in potash flotation machines by anti-glare from bubbles	57
KOSTYLEVA L.Yu. Numerical modeling of transient heat transfer in a multilayer bimetallic plate	68

Control in social and economic systems

LOGINOVSKIY O.V., HOLLAY A.V., SHESTAKOV A.L., KORENNAYA K.A. Development of smart technologies in the management of Russian regions in modern conditions	80
DRANKO O.I., OKLADNIKOV S.M., BLAGODARNYJ E.V. Regional development management with two-level “industry – organization” support model	93
BARKALOV S.A., ANANIEV A.V., IVANNIKOV K.S., MOISEEV S.I. Algorithm and methods for management decision-making based on the theory of latent variables under time conditions	106
GABDULIN R.R., LYASKOVSKAYA E.A., KOROVIN A.M., RETS E.A. Forecasting demand in the market of road construction equipment using data mining	117
AVERINA T.A., AVDEEVA E.A., KURBATOVA T.M. About the creation of a crisis management system at an enterprise in conditions of uncertainty	132

Automated process control systems

OSINTCEV K.V., KUSKARBEKOVA S.I. Development of an automated control system for an educational laboratory stand	141
---	-----

Brief reports

HOLLAY A.V., TASHKIN A.O. The intellectual support efficiency methods evaluation in the sphere of social infrastructure accessibility managing for low-mobile population groups	151
FEDOSEEV S.A., GORBUNOV D.L. Forecasting model municipal labor market	163

Информатика и вычислительная техника

Informatics and computer engineering

Научная статья
УДК 62; 004; 007
DOI: 10.14529/ctcr220301

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИДЕАЛЬНОЙ ТОЧКИ ДЛЯ ПОИСКА НАИЛУЧШЕГО СПОСОБА АУТЕНТИФИКАЦИИ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

О.В. Логиновский¹, loginovskiyo@mail.ru

М.Е. Коваль¹, kovalmax06@gmail.com

А.А. Шинкарев², sania.kill@mail.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² ООО «Софтмаст-ИТ», Челябинск, Россия

Аннотация. В современном мире все популярнее становятся различные информационные системы, в том числе и корпоративные. Многие из таких систем хранят конфиденциальные данные своих пользователей. В основном эти данные защищены только логином и паролем, которые на сегодняшний день уже не могут обеспечить высокий уровень безопасности и гарантировать сохранность этих данных. Одновременно с развитием информационных систем развиваются методы и инструменты, с помощью которых злоумышленники могут завладеть конфиденциальной информацией. Довольно часто появляются новости о том, что какая-либо из крупных компаний допустила утечку личных данных пользователей. И для того чтобы минимизировать возможности для компрометации пользовательских данных, стоит более тщательно подходить к выбору способа аутентификации пользователей в системе. **Цель исследования.** Используя математический подход, определить наиболее подходящий способ аутентификации в корпоративных информационных системах с учетом определенных критериев. **Материалы и методы.** Рассматриваются такие виды аутентификации, как: аутентификация на основе многофакторного пароля, TOTP (Time-based one-time password authentication), аутентификация на основе SMS, аутентификация на основе биометрии, OpenID, SAML (Security Assertion Markup Language). Используется метод построения множества Парето и определение с помощью метода идеальной точки наиболее предпочтительного для реализации метода аутентификации. **Результаты.** В статье авторами приводится описание рассматриваемых способов аутентификации, описание алгоритма их работы и диаграммы взаимодействия. С помощью метода идеальной точки было определено, что наиболее подходящим способом аутентификации является SAML.

Ключевые слова: аутентификация, корпоративные информационные системы, TOTP, SAML, SMS-аутентификация, биометрия, метод идеальной точки, множество Парето

Для цитирования: Логиновский О.В., Коваль М.Е., Шинкарев А.А. Применение метода идеальной точки для поиска наилучшего способа аутентификации в корпоративных информационных системах // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 5–18. DOI: 10.14529/ctcr220301

USING THE IDEAL POINT METHOD TO SEARCH THE BEST AUTHENTICATION METHOD IN CORPORATE INFORMATION SYSTEMS

O.V. Loginovskiy¹, loginovskiy@mail.ru
M.E. Koval¹, kovalmax06@gmail.com
A.A. Shinkarev², sania.kill@mail.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² LLC "Softmast-IT", Chelyabinsk, Russia

Abstract. Nowadays, various information systems, including enterprise ones, are becoming increasingly popular. Many of these systems store sensitive data of their users. Basically, this data is protected only by a login and a password, which today can no longer provide a high level of security and guarantee the safety of the data. Along with the development of information systems, methods and tools that attackers can use to get hold of confidential information are also evolving. It is not uncommon to hear news that some of the large companies have leaked its users' personal data. So, in order to minimize the risk of compromising user data, it is worth taking a more careful approach to selecting a method of authenticating users in the system. **Aim.** To determine the most appropriate method of authentication in enterprise information systems with the help of a mathematical approach and taking into account certain criteria. **Materials and methods.** The following types of authentication were considered: reusable password authentication, TOTP (Time-based one-time password authentication), SMS-based authentication, biometric authentication, OpenID, SAML (Security Assertion Markup Language). The Pareto set method and the ideal point method were used to determine the most preferable authentication method to implement. **Results.** In the article, the authors describe the authentication methods considered, the algorithm of their work, and diagrams of their interaction. Using the ideal point method, SAML was determined to be the most appropriate authentication method.

Keywords: authentication, enterprise information systems, TOTP, SAML, SMS authentication, biometrics, ideal point method, Pareto set

For citation: Loginovskiy O.V., Koval M.E., Shinkarev A.A. Using the ideal point method to search the best authentication method in corporate information systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(3):5–18. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220301

Введение

В настоящее время информационные технологии стали неотъемлемой частью жизни людей. Распространены социальные сети, облачные хранилища, интернет-магазины, мессенджеры и другие онлайн-сервисы, которые так или иначе хранят персональные данные пользователей. Можно выделить такие чувствительные к утечкам персональные данные, как имя, номер телефона, адрес, дату рождения и банковские реквизиты. С ростом количества информационных сервисов, которым пользователи доверяют персональные данные, растет и риск того, что эти данные будут украдены, ведь они дублируются в нескольких местах, на каждое из которых можно осуществлять хакерскую атаку. Поэтому сегодня на первый план выходит вопрос обеспечения безопасности персональных данных, равно как и их прозрачности размещения. Кража информации грозит серьезными последствиями как для компании, которая предоставляет сервис, так и для пользователей, чьи данные были украдены. Для компаний ситуация с компрометированием персональных данных скорее всего обернется судебными разбирательствами, финансовыми издержками и подрывом репутации, а для пользователей тем, что злоумышленники смогут воспользоваться, например, банковскими данными и перевести денежные средства пользователя на свои счета.

Нельзя забывать и о том, что зачастую пользователи информационных систем (ИС) имеют низкую грамотность в вопросе информационной безопасности данных. Пользователи не знают, как и где хранятся их данные, например информация об оплате онлайн-покупок хранится на сто-

роне банка и онлайн-магазин не имеет к ней доступа. Еще одной проблемой, которая объясняется низкой информационной грамотностью, является использование одного пароля для аккаунтов в различных системах. Если у пользователя везде одинаковый пароль, злоумышленник, украв пароль и логин от почты, получает доступ ко всем сервисам пользователя и может совершать противоправные действия, например покупки или переводы денежных средств. В таком случае непричастность пользователя к этим действиям будет довольно сложно доказать для возврата собственных денег. Тяжело отследить и продажу данных в даркнете. Все это делает необходимым повышение уровня безопасности систем, хранящих личные данные.

В связи с возрастающей ценностью персональных данных на черном рынке и расширением возможностей по извлечению из них выгоды злоумышленниками необходимо обеспечить информационную безопасность. Обеспечить информационную безопасность ИС – создать такую систему защиты, которая позволит защитить доступ к секретной информации системы и исключить возможные попытки взлома злоумышленниками. Для повышения защиты информационной системы пользователю требуется пройти идентификацию, аутентификацию и авторизацию.

На сегодняшний день существует большое количество способов аутентификации в информационных системах. К ним относятся аутентификация с использованием многофакторного пароля, аутентификация по SMS, аутентификация на основе географического положения, аутентификация на основе биометрических данных, SAML, TOTP, OpenID и другие. В данной статье будет рассмотрено 6 наиболее распространенных подходов:

- 1) аутентификация на основе многофакторного пароля;
- 2) TOTP (Time-based one-time password authentication);
- 3) аутентификация на основе SMS;
- 4) аутентификация на основе биометрии;
- 5) OpenID;
- 6) SAML (Security Assertion Markup Language).

1. Понятие аутентификации и ее факторы

Для минимизации возможности компрометации персональных и коммерческих данных и обеспечения их конфиденциальности требуется ограничить к ним доступ. Другими словами, требуется использование механизмов, которые бы позволяли однозначно понять, кто запросил доступ к информации, и определить, что это именно тот пользователь, за которого он себя выдает. Такие механизмы называются идентификация и аутентификация соответственно. Идентификация – это процедура распознавания пользователя по его личному идентификатору (например, логину). Эта функция выполняется при попытке пользователя войти в сеть. Аутентификация – процедура проверки подлинности входящего в систему объекта, предъявившего свой идентификатор [1].

С развитием информационных систем происходит и развитие способов для осуществления несанкционированного доступа к данным, поэтому требуется постоянное улучшение механизмов аутентификации для ее защиты.

В любой системе аутентификации обычно можно выделить несколько элементов:

- 1) субъект (subject), который будет проходить процедуру аутентификации;
- 2) характеристика субъекта (subject characteristic) – отличительная черта;
- 3) владелец системы аутентификации (authentication system owner), несущий ответственность и контролирующей её работу;
- 4) механизм аутентификации (authentication mechanism), то есть принцип работы системы;
- 5) механизм управления доступом (access control mechanism), предоставляющий определенные права доступа субъекту.

Все субъекты обладают определенными характеристиками, использование которых в системе зависит от требуемой надежности, защищенности и стоимости внедрения. В зависимости от используемых характеристик субъекта выделяют три фактора аутентификации:

- 1) нечто, что нам известно, например, какая-либо секретная информация;
- 2) нечто, чем мы обладаем, например, какой-либо уникальный физический объект;
- 3) нечто, что является неотъемлемой частью нас самих – биометрика.

Существует однофакторная и многофакторная аутентификация (MFA, Multi Factor Authentication) на основе двух и более факторов. Многофакторная аутентификация, осуществляется с использованием двух и более факторов. При этом следует разделять факторы и шаги аутентификации. Шаги аутентификации являются составными частями факторов, например, если для аутентификации необходимо ввести два пароля, то это аутентификация на основе одного фактора. На примере методов аутентификации, рассматриваемых в данной статье, выявляются различия между шагами и факторами аутентификации.

Например, метод на основе SMS следует относить к однофакторной аутентификации, но с двумя шагами, поскольку пароль для SMS генерируется на стороне сервера. TOTP, с другой стороны, относится к двухфакторной, так как генерация пароля происходит при помощи специального приложения на смартфоне пользователя, что усложняет задачу доступа злоумышленников к этой информации. В этом заключаются различия в понятиях фактора и шага аутентификации [2–4].

2. Типы аутентификации

2.1. Аутентификация на основе многоразового пароля

Почти в любой информационной системе необходимо пройти процедуру идентификации. Обычно для этого используются логин и пароль. Во время процедуры аутентификации сопоставляются пароль, введенный пользователем, и значение, которое хранится на сервере. Аутентификация при помощи паролей – наиболее распространенный вид аутентификации. Главный недостаток этого типа аутентификации состоит в том, что если злоумышленник владеет чужим паролем, то может выдавать себя за другого пользователя. На рис. 1 изображена схема аутентификации пользователя на основе пароля на сервере [5–6].



Рис. 1. Схема аутентификации на основе многоразового пароля
Fig. 1. Authentication scheme based on a reusable password

2.2. TOTP (Time-based one-time password algorithm)

TOTP – алгоритм создания одноразовых паролей для защищенной аутентификации. Является алгоритмом односторонней аутентификации – сервер удостоверяется в подлинности клиента.

При использовании для двухфакторной аутентификации метода на основе TOTP одноразовый пароль генерируется на стороне пользователя через приложение для смартфона. Это значит, что пользователь всегда имеет доступ к одноразовому паролю. А также избавляет сервер от необходимости отправлять текстовое сообщение при каждом входе в систему. Также стоит отметить, что сгенерированный пароль через определенный промежуток времени меняется, что делает его, по сути, одноразовым [7, 8].

Для реализации двухфакторной аутентификации с использованием TOTP необходимо учитывать основное требование – пароль должен создаваться на стороне пользователя, а также по-

стоянно изменяться. На рис. 2 изображена диаграмма, демонстрирующая процесс аутентификации на основе TOTP.

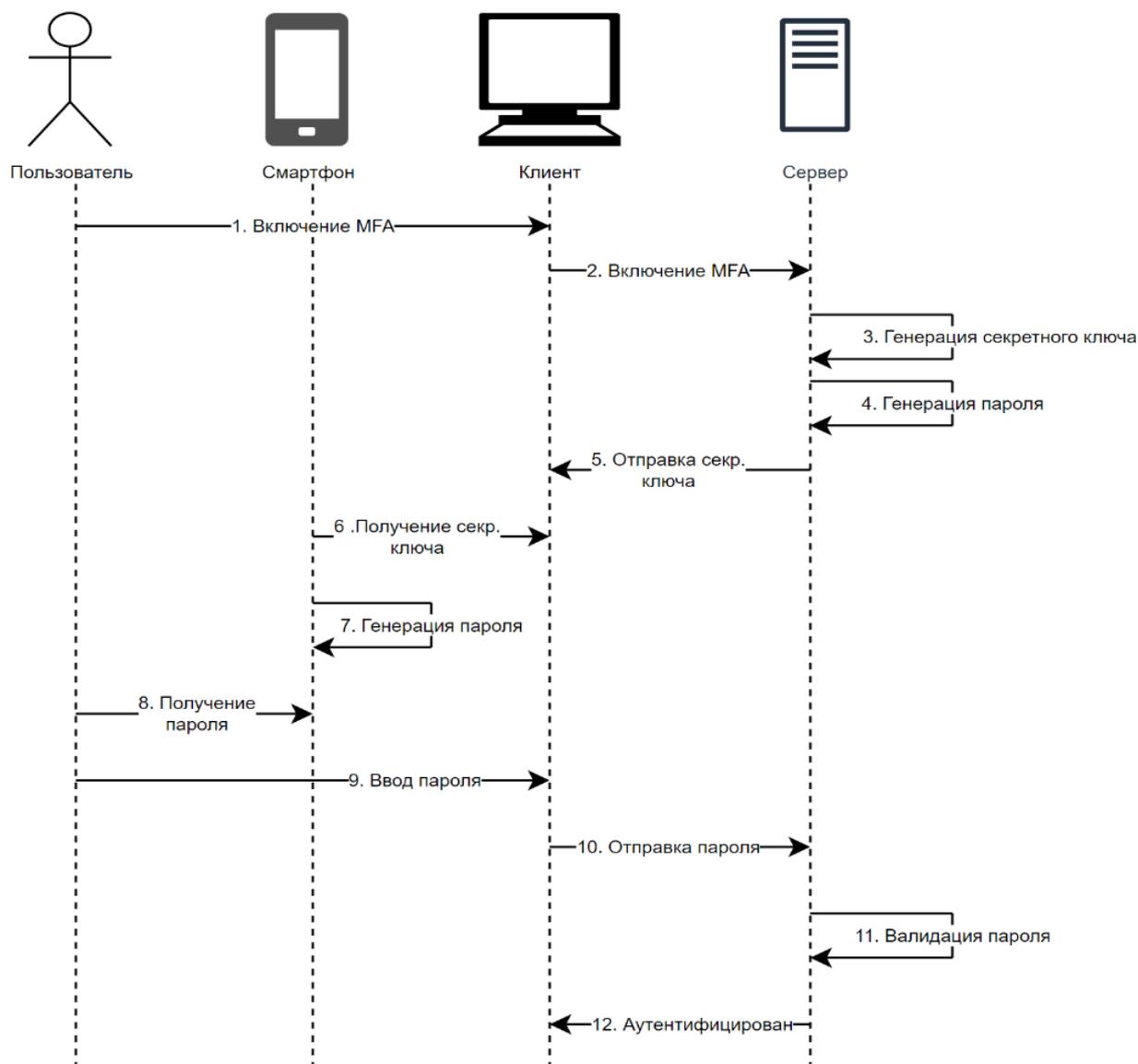


Рис. 2. Аутентификация с использованием TOTP
Fig. 2. Authentication using TOTP

Шаги такого типа аутентификации выглядят так.

1. Пользователь включает многофакторную аутентификацию (MFA) в системе.
2. Клиент передает запрос на включение MFA серверу.
3. Сервер создает секретный ключ для конкретного пользователя.
4. Сервер генерирует пароль на основе времени и секретного ключа.
5. Сервер передает секретный ключ пользовательскому клиенту.
6. Секретный ключ добавляется в телефонное приложение.
7. Телефонное приложение генерирует одноразовый пароль, используя ключ и время.
8. Пользователь получает пароль из приложения.
9. Пользователь вводит пароль.
10. Клиент передает введенный пароль на сервер.
11. Сервер сравнивает введенный пароль со сгенерированным.
12. Если пароли совпадают, то пользователь считается аутентифицированным.

2.3. Аутентификация на основе СМС

Из названия данного типа аутентификации ясно, что при таком способе используется одноразовый пароль, который пользователь получает по СМС на свой телефон. На рис. 3 изображена диаграмма процесса аутентификации на основе СМС.

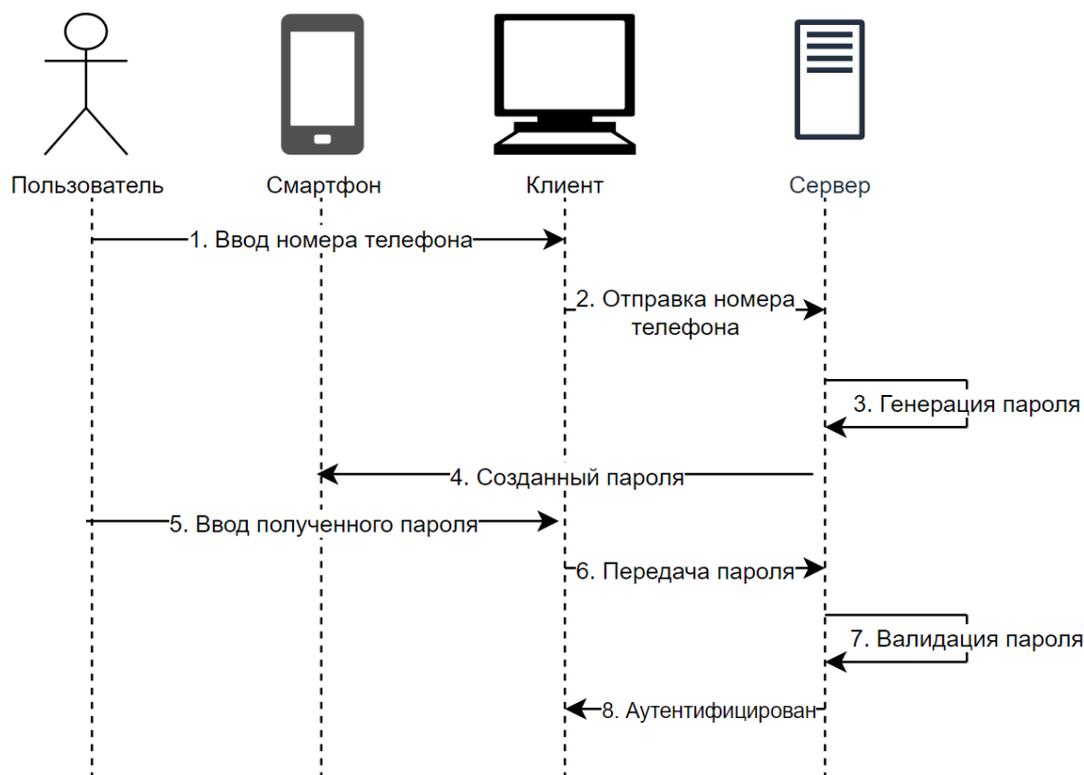


Рис. 3. Аутентификация на основе СМС
Fig. 3. SMS-based authentication

Данный способ осуществляется с помощью таких шагов.

1. Пользователь вводит свой номер телефона.
2. Номер телефона передается на сервер.
3. Сервер генерирует одноразовый пароль.
4. Сервер отправляет пароль на телефон пользователя в СМС.
5. Пользователь вводит полученный пароль на сайте.
6. Пароль передается на сервер.
7. Сервер сравнивает созданный им пароль с пришедшим.
8. Если пароли совпадают, то пользователь считается аутентифицированным.

Этот способ удобен тем, что пользователю не нужно придумывать и запоминать сложный пароль, снижаются трудозатраты на разработку системы аутентификации, так как не нужно реализовывать методы валидации пароля, а также способы восстановления пароля.

Однако такой подход имеет и значительные минусы с точки зрения безопасности. Во-первых, установленным на смартфон пользователя вредоносным ПО может перехватить сообщение с кодом. Во-вторых, имели место случаи с подкупом сотрудника салона сотовой связи с целью выпуска новой sim-карты с номером телефона жертвы. Наконец, код из SMS можно просто подсмотреть и передать злоумышленнику [9, 10].

2.4. Аутентификация на основе OpenID

OpenID – открытый стандарт децентрализованной системы аутентификации, предоставляющей пользователю возможность создать единую учетную запись для аутентификации на множестве не связанных друг с другом интернет-ресурсов, используя услуги третьих лиц. Это означает,

что системы могут проверять подлинность пользователей от имени приложения через такие сервисы, как Google, Microsoft, Facebook, Twitter, ВКонтакте и т. д.

Есть множество преимуществ такой системы аутентификации: многие пользователи уже имеют профили в различных социальных сетях, пользователи могут использовать двухфакторную аутентификацию, и вы не должны управлять учетными записями пользователя в приложении.

Если говорить коротко, OpenID позволяет входить на множество сайтов, используя один аккаунт провайдера, например профиль в социальной сети Facebook или Google. Например, когда пользователь заходит на сайт, как показано на рис. 4, ему предоставляется выбор провайдера, после чего он перенаправляется на сайт этого провайдера и вводит свои учетные данные. Если он успешно проходит аутентификацию у провайдера, провайдер возвращает сайту успешный OpenID пользователя и после этого его аутентифицируют в своем приложении [11, 12].

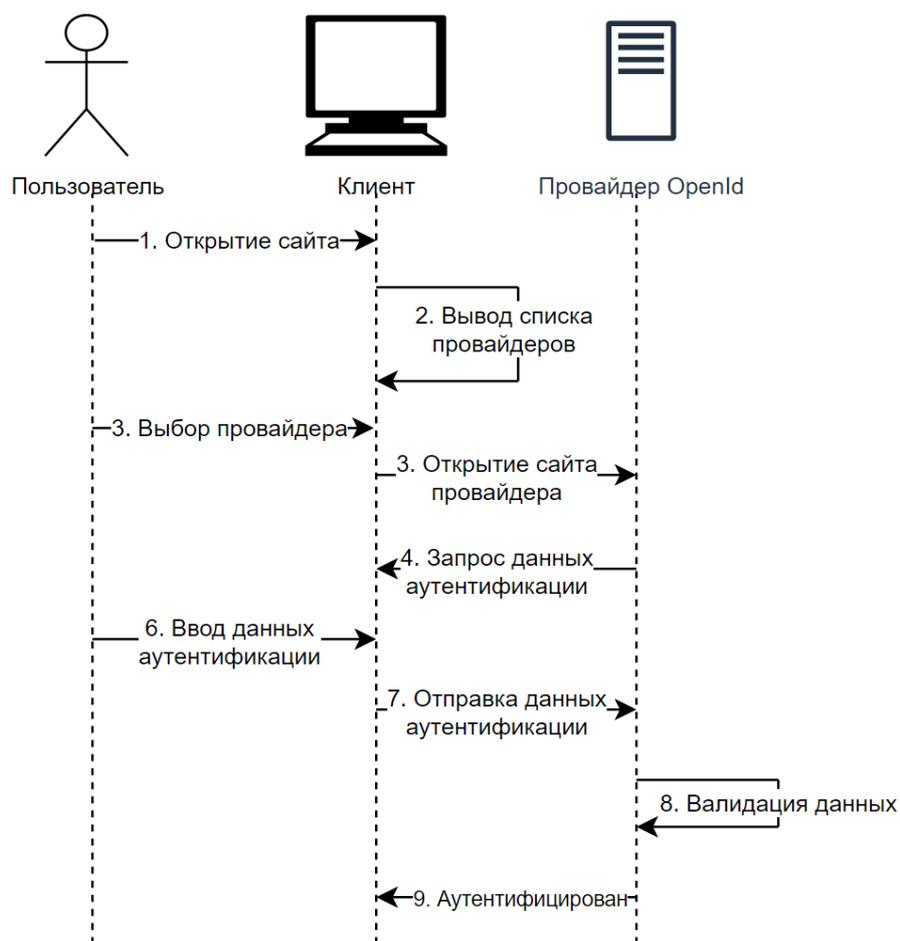


Рис. 4. Аутентификация на основе OpenID
Fig. 4. OpenID-based authentication

При OpenID-аутентификации выполняются следующие шаги.

1. Пользователь открывает сайт в браузере (клиент).
2. На сайте отображается форма с возможностью выбора провайдера для аутентификации (например, Google или VK).
3. Пользователь выбирает провайдера.
4. Открывается сайт провайдера аутентификации с формой.
5. Пользователь заполняет форму с необходимыми данными для аутентификации.
6. Клиент отправляет данные аутентификации провайдеру.
7. Провайдер проверяет корректность введенных данных (например, логин и пароль).
8. Если данные валидны, то пользователь считается аутентифицированным.

2.5. Аутентификация на основе биометрических данных

Для пользователей такой тип аутентификации особенно удобен, так как не требуется запоминать пароли и так далее. Биометрические системы аутентифицируют пользователей, используя их анатомические данные.

В настоящее время методы биометрической аутентификации делятся на два класса:

- 1) статические методы, основанные на физиологических характеристиках человека, находящихся при нём в течение всей его жизни, и которые нельзя потерять, украсть и скопировать;
- 2) динамические методы, основанные на поведенческих характеристиках людей.

В процессе биометрической аутентификации эталонный образец биометрических данных и пользовательский сравнивают с учетом установленной ранее погрешности. Погрешность подбирается для установления оптимального соотношения двух основных характеристик биометрической аутентификации:

- 1) FAR (False Accept Rate) – коэффициент ложного принятия;
- 2) FRR (False Reject Rate) – коэффициент ложного отказа.

FAR и FRR измеряются в процентах и должны быть минимальны. Биометрическая система аутентификации должна позволять настроить коэффициент FAR до 0,01–0,001 % при FRR около 3–5 %.

В общем виде данный тип аутентификации схож с аутентификацией на основе многопарольного пароля, только в роли пароля здесь выступают биометрические данные пользователя.

Биометрическая аутентификация имеет свои плюсы и минусы. Например, использование отпечатков пальцев наиболее удобно для пользователей, но существует вероятность подделки отпечатка пальца. Еще одним недостатком такого типа аутентификации является высокая стоимость необходимого оборудования. Стоит отметить, что биометрию чаще используют для идентификации, а аутентифицируется пользователь с помощью пароля [13, 14].

2.6. Аутентификация на основе SAML

SAML – сокращение от Security Assertion Markup Language (язык разметки декларации безопасности). Этот подход позволяет проходить процедуру аутентификации только с одним набором нужных данных. SAML производит обмен аутентификационной информацией в определенном формате между системой управления доступами и веб-приложением.

SAML обменивается пользовательской информацией между системой управления доступами и поставщиком услуг. Это упрощает и увеличивает уровень безопасности аутентификации, так как пользователю необходимо только единожды пройти аутентификацию. Таким образом, когда пользователь запрашивает доступ к сайту, SAML передает аутентификационные данные поставщику услуг, который впоследствии предоставляет доступ пользователю [15, 16].

Процесс аутентификации SAML изображен на рис. 5.

Для SAML-аутентификации необходимо выполнение следующих этапов.

1. Пользователь открывает браузер (клиент).
2. Клиент запрашивает требуемый сайт.
3. Сервер приложения отвечает SAML-запросом.
4. Браузер передает SAML-запрос системе управления доступами.
5. Система управления доступами (СУД) обрабатывает SAML-запрос.
6. Система управления доступами запрашивает логин, пароль или какой-либо другой фактор аутентификации.
7. Введенные данные отправляются на сервер системы управления доступами.
8. Система управления доступами проверяет корректность введенных данных.
9. Система управления доступами генерирует SAML-ответ.
10. СУД отправляет SAML-ответ обратно в браузер пользователя.
11. Браузер отправляет сгенерированный SAML-ответ серверу сайта для проверки.
12. Сервер проверяет ответ.
13. Если проверка прошла успешно, веб-приложение предоставляет доступ пользователю.

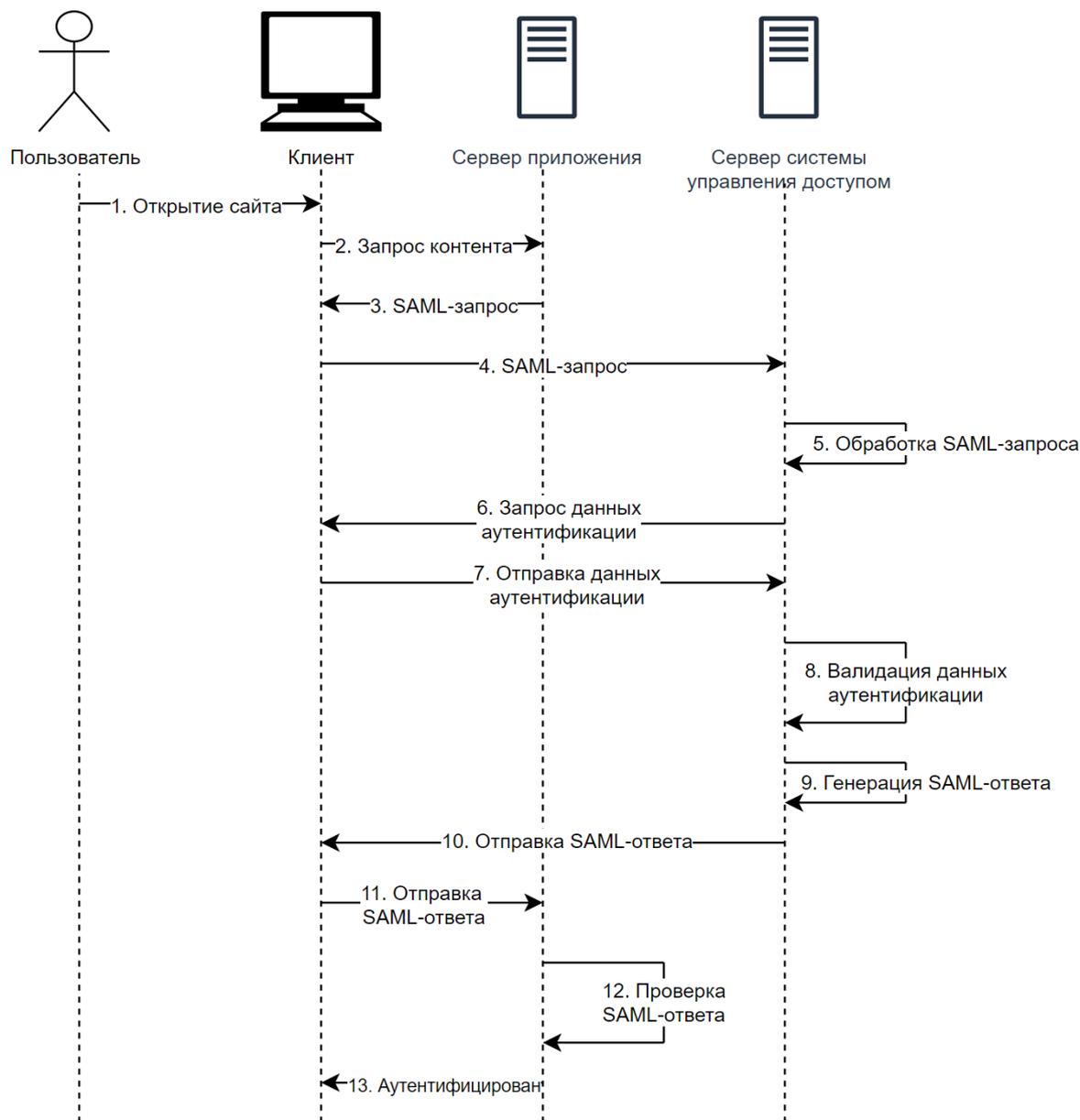


Рис. 5. Аутентификации на основе SAML
Fig. 5. SAML-based authentication

3. Анализ методов аутентификации по критериям и определение наиболее безопасных и рекомендуемых типов аутентификации

Для исследования типов аутентификации предлагается использовать следующие критерии.

1. Низкая стоимость внедрения (k_1) – включает в себя время и ресурсы, необходимые для внедрения аутентификации в систему.

2. Простота реализации (k_2) – отражает возможность интегрировать систему аутентификации в уже работающую информационную систему.

3. Уровень безопасности (k_3) – показатель, отражающий возможность взлома системы или использования чужих аутентификационных данных.

4. Возможность возникновения ошибок (k_4) – может ли система допустить ошибку при аутентификации, например, разрешить доступ злоумышленнику вместо реального пользователя.

5. Зависимость от сторонних сервисов (k_5).

6. Необходимость использования дополнительного оборудования (k_6).

В табл. 1 представлено сравнение способов аутентификации по выбранным критериям. Для простоты будем считать, что для оценки критериев k_1, k_2, k_3, k_4 была использована десятибалльная шкала. Так как для оценки критериев k_5 и k_6 не может быть использована такая шкала, применяются следующие значения: 0 – нет, 1 – да. При этом стоит учитывать, что для этих критериев 0 является более предпочтительным вариантом выбора.

Сравнение способов аутентификации по выбранным критериям
Comparison of authentication methods according to selected criteria

Таблица 1
Table 1

Способ аутентификации	Критерии оценки					
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Многоразовый пароль (f_1)	8	8	3	0	0	0
TOTP (f_2)	5	6	7	0	0	0
СМС (f_3)	2	7	6	1	0	1
Биометрия (f_4)	9	0	9	1	0	1
OpenID (f_5)	6	2	8	0	1	0
SAML (f_6)	8	3	8	0	1	0

Ввиду того, что ни один из рассматриваемых способов аутентификации не обладает только лишь высокими оценками по критериям, необходимо выбрать математические методы, применив которые к данным, можно получить наиболее предпочтительный для реализации способ аутентификации.

Поскольку необходимо на основе нескольких критериев выделить только один способ аутентификации, то эту задачу стоит относить к задачам многокритериального выбора. Ее решение заключается в отыскании множества Парето, которое может состоять из одного элемента, но в общем случае оно является подмножеством множества возможных решений. Если имеется конечное число альтернатив f_1, \dots, f_6 , то для получения множества Парето необходимо вектор $C(f_i)$ сравнить с другим вектором $C(f_k)$, то есть определить справедливость неравенства $C(f_i) \geq C(f_k)$. Если это неравенство выполняется, то альтернатива f_k не может быть оптимальной по Парето [17, 18].

Проанализировав таким образом все возможные пары альтернатив и исключив альтернативы, которые не являются парето-оптимальными, получим множество Парето, из которого можно выбрать наиболее предпочтительный способ аутентификации.

1. Сравниваем f_1 с альтернативами f_2, \dots, f_6 по отношению \geq . Неравенство $C(f_1) \geq C(f_k)$ не выполняется ни для одной из альтернатив, поэтому на данном шаге ни одна из альтернатив не исключается.

2. Далее сравниваем f_2 с альтернативой f_1 и f_3, \dots, f_6 . Неравенство $C(f_2) \geq C(f_k)$ не выполняется ни для одного из вариантов, поэтому на этом шаге также никакой вариант не исключается.

3. Сравниваем f_3 и другие альтернативы. Данная альтернатива не лучше остальных альтернатив по критерию k_1 , поэтому невозможно исключить какой-либо вариант.

4. Сравниваем f_4 с остальными альтернативами. Для этой альтернативы неравенство $C(f_4) \geq C(f_k)$ не выполняется.

5. На этом этапе сравниваем альтернативу f_5 . Для данной альтернативы условие $C(f_5) \geq C(f_k)$ не выполняется.

6. Последней сравниваем альтернативу f_6 с оставшимися альтернативами. В данном случае альтернатива f_6 более предпочтительна, чем альтернатива f_5 .

Таким образом, после сравнения альтернатив получаем множество Парето из альтернатив f_1, f_2, f_3, f_4, f_6 .

После того как было сформировано множество Парето, следует выделить наиболее предпочтительный вариант аутентификации, для этого можно использовать метод идеальной точки. Точка a называется идеальной, если она оптимальна сразу по всем критериям. Как правило, такой точки не существует, но для каждой реальной альтернативы можно определить расстояние до идеальной точки [19] и выбрать ту, для которой это расстояние минимально. Метод идеальной точки сводит исходную многокритериальную задачу к решению обычной однокритериальной задачи.

В нашем случае идеальным объектом следует считать альтернативу, которая имеет следующие оценки критериев: $k_1 = 10, k_2 = 10, k_3 = 10, k_4 = 0, k_5 = 0, k_6 = 0$. В табл. 2 отображены наиболее подходящие альтернативы, а также идеальный и наихудший по критериям объекты.

Множество Парето. Идеальный и наихудший объекты

Таблица 2

Lots of Pareto. Ideal and worst objects

Table 2

Способ аутентификации	Критерии оценки					
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Многоразовый пароль (f_1)	8	8	3	0	0	0
TOTP (f_2)	5	6	7	0	0	0
СМС (f_3)	2	7	6	1	0	1
Биометрия (f_4)	9	0	9	1	0	1
SAML (f_6)	8	3	8	0	1	0
Лучшая альтернатива a^+	10	10	10	0	0	0
Худшая альтернатива a^-	0	0	0	1	1	1

Для сопоставления разнородных значений критериальных параметров разных альтернатив необходимо выполнить процедуру нормирования по формуле $x_{ij} = \frac{a_j^+ - a_{ij}}{a_j^+ - a_j^-}$, где a_j^+ – значение j -го критерия лучшей альтернативы, a_{ij} – исходное значение j -го критерия i -й альтернативы, a_j^- – значение j -го критерия худшей альтернативы. Нормированные значения критериев рассматриваемых альтернатив представлены в табл. 3.

Нормированные значения критериев рассматриваемых альтернатив

Таблица 3

Normalized values of the criteria of the considered alternatives

Table 3

Способ аутентификации	Критерии оценки					
	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6
Многоразовый пароль (f_1)	0,2	0,2	0,7	0	0	0
TOTP (f_2)	0,5	0,4	0,3	0	0	0
СМС (f_3)	0,8	0,3	0,4	1	0	1
Биометрия (f_4)	0,1	0	0,1	1	1	1
SAML (f_6)	0,2	0,7	0,2	0	0	0

После нормировки значений критериев необходимо определить расстояние от каждой из альтернатив до идеальной альтернативы. Для этого воспользуемся формулой $L(f_i) = \sqrt{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}$, где

a_{ij} – исходное значение j -го критерия i -й альтернативы. В табл. 4 представлены расстояния альтернатив до идеального объекта.

Расстояния альтернатив до идеального объекта

Таблица 4

Distances of alternatives to the ideal object

Table 4

Альтернатива	f_1	f_2	f_3	f_4	f_6
Расстояние до идеального объекта	0,75	0,7	1,7	1,73	0,57

Как видно из табл. 4, кратчайшее расстояние до идеального объекта у альтернативы f_6 , значит, в соответствии с проведенными расчетами наиболее предпочтительным типом аутентификации является аутентификация с использованием SAML-технологии.

Заключение

В современных условиях развития информационных технологий все больше сервисов и систем хранят личные данные пользователей, а значит, растет вероятность кражи этих данных злоумышленниками. Для обеспечения сохранности данных применяются механизмы аутентификации.

Наиболее популярные методы аутентификации, такие как аутентификация на основе многопарольного пароля, TOTP, аутентификация на основе биометрии и другие, были рассмотрены и описаны в рамках данной статьи.

Каждый из рассмотренных методов имеет свои плюсы и минусы, поэтому затруднительно выбрать лучший метод. Для поиска наиболее предпочтительного метода аутентификации в информационных системах был предложен математический способ, основанный на определении множества Парето и применении метода идеальной точки. Был выделен набор критериев, по которым происходил отбор методов аутентификации. К этим критериям относятся: стоимость внедрения, сложность реализации, уровень безопасности, возможность возникновения ошибок, зависимость от сторонних сервисов, необходимость использования дополнительного оборудования.

После применения математической модели было установлено, что наиболее предпочтительным способом аутентификации является аутентификация на основе SAML. К плюсам такой аутентификации можно отнести высокий уровень безопасности, низкую возможность взлома, из минусов данного типа аутентификации можно выделить необходимость использования дополнительных сервисов и относительно высокое время на разработку. Но стоит обращать внимание на масштабы проекта, на уровень использования в нем чувствительных к краже данных, и исходя из этого выбирать способ аутентификации, который наиболее будет соответствовать требованиям системы.

Таким образом, в тех системах, которые хранят большие объемы персональных данных пользователей, рекомендуется применение аутентификации на основе SAML для обеспечения высокой степени защиты и снижения возможности компрометации персональных данных.

SAML – сокращение от Security Assertion Markup Language (Язык разметки декларации безопасности). Этот подход позволяет проходить процедуру аутентификации только с одним набором нужных данных. SAML производит обмен аутентификационной информацией в определенном формате между системой управления доступами и веб-приложением.

Список литературы

1. Chapman N., Chapman J. Authentication and Authorization on the Web. Edinburgh: MacAvon Media, 2012. 246 с.
2. Huang X., Robert J., Robert D. A Generic Framework for Three-Factor Authentication: Preserving Security and Privacy in Distributed Systems // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2011. No. 22.
3. Lakshmi C. Three-Factor Authentication for Fortified Login to Ensure Privacy Preservation and Improved Security // International Journal of Applied Engineering Research. 2018. No. 13.
4. Ometov A., Bezzateev S., Koucheryavy Y. Multi-Factor Authentication: A Survey // Cryptography. 2018. No. 2.

5. Teik Guan T., Szalachowski P., Zhou J. Securing Password Authentication for Web-based Applications // *Networking and Internet Architecture*. 2020. No. 1.
6. Fujita K., Hirakawa Y. A study of password authentication method against observing attacks // *IEEE Xplore*. 2008. No. 6.
7. Uymatiao M., Uymatiao Y. Time-Based OTP Authentication via Secure Tunnel (TOAST): A Mobile TOTP Scheme Using TLS Seed Exchange and Encrypted Offline Keystore // *2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology*. Shenzhen, 2014. P. 225–229.
8. Oluwakemi C. A Secured One Time Password Authentication Technique using Visual Cryptography Scheme // *Journal of Physics*. 2019. No. 8.
9. Balilo B., Vibar J. Authentication Key-Exchange Using SMS for Web-Based Platforms // *Journal of Computer and Communications*. 2020. No. 10.
10. Gwonsang R., Kim S., Choi D. Implicit Secondary Authentication for Sustainable SMS Authentication // *Sustainability*. 2019. No. 11.
11. Ma W., Ma S., Bak P. OpenID Connect as a Security Service in Cloud-based Diagnostic Imaging Systems // *SPIE. Medical Imaging 2015 (International Society of Optics and Photonics)*. Orlando, 2015.
12. Khan R., Ylitalo J., Ahmed A. OpenID authentication as a service in OpenStack // *7th Int. Conf. Information Assurance and Security (IAS)*. Melacca, 2011. P. 372–377.
13. Bhattacharyya D., Bhattacharyya R., Rahul A. Biometric Authentication: A Review // *International Journal of u- and e-Service, Science and Technology*. 2019. No. 2.
14. Carmel V., Akila D. A survey on biometric authentication systems in cloud to combat identity theft // *Journal of Critical Reviews*. 2020. No. No. 7.
15. Lewis J. Web single sign-on authentication using SAML // *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*. 2009. No. 2.
16. Armando A., Carbone R., Compagna L. Formal analysis of SAML 2.0 web browser single sign-on // *Formal Methods in Security Engineering*. 2008. No. 6.
17. Панкратова Н.Д., Опарина Е.Л. Формирование множества Парето в задачах поиска рационального компромисса // *САЕС*. 2020. № 1.
18. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 256 с.
19. Ланнэ А.А., Улахович Д.А. Многокритериальная оптимизация. СПб.: ВАС, 1984. 146 с.

References

1. Chapman N., Chapman J. Authentication and Authorization on the Web. Edinburgh: MacAvon Media; 2012. 246 p.
2. Huang X., Robert J., Robert D. A Generic Framework for Three-Factor Authentication: Preserving Security and Privacy in Distributed Systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. 2011;22.
3. Lakshmi C. Three-Factor Authentication for Fortified Login to Ensure Privacy Preservation and Improved Security. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018;13.
4. Ometov A., Bezzateev S., Koucheryavy Y. Multi-Factor Authentication: A Survey. *Cryptography*. 2018;2.
5. Teik Guan T., Szalachowski P., Zhou J. Securing Password Authentication for Web-based Applications. *Networking and Internet Architecture*. 2020;1.
6. Fujita K., Hirakawa Y. A study of password authentication method against observing attacks. *IEEE Xplore*. 2008;6.
7. Uymatiao M., Uymatiao Y. Time-Based OTP Authentication via Secure Tunnel (TOAST): A Mobile TOTP Scheme Using TLS Seed Exchange and Encrypted Offline Keystore. In: *2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology*. Shenzhen; 2014. P. 225–229.
8. Oluwakemi C. A Secured One Time Password Authentication Technique using Visual Cryptography Scheme. *Journal of Physics*. 2019;8.
9. Balilo B., Vibar J. Authentication Key-Exchange Using SMS for Web-Based Platforms. *Journal of Computer and Communications*. 2020;10.

10. Gwonsang R., Kim S., Choi D. Implicit Secondary Authentication for Sustainable SMS Authentication. *Sustainability*. 2019;11.
11. Ma W., Ma S., Bak P. OpenID Connect as a Security Service in Cloud-based Diagnostic Imaging Systems. In: *SPIE. Medical Imaging 2015 (International Society of Optics and Photonics)*. Orlando; 2015.
12. Khan R., Ylitalo J., Ahmed A. OpenID authentication as a service in OpenStack. In: *7th Int. Conf. Information Assurance and Security (IAS)*. Melacca; 2011. P. 372–377.
13. Bhattacharyya D., Bhattacharyya R., Rahul A. Biometric Authentication: A Review. *International Journal of u- and e-Service, Science and Technology*. 2019;2.
14. Carmel V., Akila D. A survey on biometric authentication systems in cloud to combat identity theft. *Journal of Critical Reviews*. 2020;7.
15. Lewis J. Web single sign-on authentication using SAML. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*. 2009;2.
16. Armando A., Carbone R., Compagna L. Formal analysis of SAML 2.0 web browser single sign-on. *Formal Methods in Security Engineering*. 2008;6.
17. Pankratova N.D., Oparina E.L. Formation of the Pareto Set in Problems of Searching for a Rational Compromise. *SAEC*. 2020;1. (In Russ.)
18. Podinovskiy V.V., Nogin V.D. *Pareto-optimal'nyye resheniya mnogokriterial'nykh zadach* [Pareto-optimal solutions of multicriteria problems]. Moscow: Nauka; 1982. 256 p. (In Russ.)
19. Lanne A.A., Ulakhovich D.A. *Mnogokriterial'naya optimizatsiya* [Multicriteria optimization]. St. Petersburg: VAS; 1984. 146 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Логиновский Олег Витальевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; loginovskiyo@mail.ru.

Коваль Максим Евгеньевич, магистрант, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; kovalmax06@gmail.com.

Шинкарев Александр Андреевич, канд. техн. наук, инженер-программист, ООО «Софт-маст-ИТ», г. Челябинск, Россия; sania.kill@mail.ru.

Information about the authors

Oleg V. Loginovskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Department of Informational and Analytical Support of Control in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; loginovskiyo@mail.ru.

Maksim E. Koval, Master's Student, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; kovalmax06@gmail.com.

Aleksandr A. Shinkarev, Cand. Sci. (Eng.), Software engineer, LLC “Softmast-IT”, Chelyabinsk, Russia; sania.kill@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.03.2022

The article was submitted 15.03.2022

СРАВНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ НА АРХИТЕКТУРЕ ТРАНСФОРМЕРОВ В КОНТЕКСТЕ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ КОМПАКТНОСТИ ВЕКТОРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ СЕМАНТИЧЕСКИ БЛИЗКИХ ТЕКСТОВ ТРЕБОВАНИЙ ЕВРОПЕЙСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ НАВЫКОВ ESCO

И.Е. Николаев¹, ivan_nikolaev@csu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9686-2435>
А.В. Мельников², MelnikovAV@uriit.ru

¹ Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

² Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий, Ханты-Мансийск, Россия

Аннотация. В процессе анализа коротких текстов требований вакансий российского рынка труда было выявлено, что одни и те же навыки могут иметь различные формулировки на естественном языке. В связи с этим актуальной задачей становится поиск нейросетевой модели, способной эффективно выделять семантически близкие группы текстов требований для дальнейшего формирования профилей навыков и профессий российского рынка труда. **Целью исследования** является разработка метода оценки нейросетевых моделей, построенных на архитектуре трансформеров, посредством сравнения компактности векторных представлений семантически близких коротких текстов навыков профессий из европейской классификации (European Skills, Competences, and Occupations). **Материалы и методы.** В статье приводится анализ для оригинальной модели европейской таксономии навыков ESCO на английском языке и текстов навыков, переведенных на русский язык сервисами автоматического перевода Yandex Переводчик и Google Translate. В статье также приводится сравнение различных методов получения вложений предложений (cls, mean, pooling, SentenceTransformers) для различных нейросетевых моделей, построенных на архитектуре трансформеров. **Результаты** исследования показывают, что с помощью предложенного метода можно эффективно осуществлять выбор нейросетевых моделей для задачи поиска групп семантически близких текстов требований из текстов онлайн-вакансий. **Заключение.** Предложенный метод позволил эффективно выбирать нейросетевые модели для задачи выделения компактных групп семантически близких текстов профессиональных навыков, что, в свою очередь, даст возможность выделять группы навыков при формировании профилей профессиональных навыков, включая семантически близкие формулировки, и профилей целых профессий. Такие инструменты позволят оперативно определять: ключевые изменения потребностей рынка труда на уровне отдельных компетенций позволят сформировать представление о динамике и наборах актуальных компетенций, повысят эффективность управленческих решений по созданию программ цифровой грамотности, переподготовки и повышения квалификации, позволят осуществлять оценку компетенций, помогут всем участникам рынка труда точнее оценивать существующие тенденции, предложение и спрос на рынке труда.

Ключевые слова: нейронные сети, кластерный анализ, профессиональные навыки, трансформеры, sentence transformer, ESCO, рынок труда

Для цитирования: Николаев И.Е., Мельников А.В. Сравнение нейросетевых моделей на архитектуре трансформеров в контексте задачи оценки компактности векторных представлений семантически близких текстов требований европейской классификации навыков ESCO // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 19–29. DOI: 10.14529/ctcr220302

COMPARISON OF TRANSFORMER ARCHITECTURE NEURAL NETWORK MODELS BASED ON EVALUATING THE VECTOR REPRESENTATION COMPACTNESS OF SEMANTICALLY SIMILAR TEXTS IN THE EUROPEAN CLASSIFICATION SKILLS ESCO

I.E. Nikolaev¹, ivan_nikolaev@csu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9686-2435>
A.V. Melnikov², MelnikovAV@uriit.ru

¹ Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia

² Ugra Research Institute of Information Technologies, Khanty-Mansiysk, Russia

Abstract. In the process of analyzing short texts of the requirements of the Russian labor market, it was revealed that the same skills may have different formulations in natural language. In this regard, the search for a neural network model capable of effectively identifying semantically similar groups of texts of requirements for further formation of profiles of the skills and professions of the Russian labor market becomes an urgent task. **The purpose of the study** is to develop a method for evaluating neural network models built on the architecture of transformers by comparing the compactness of vector representations of semantically close short texts of skills of professions from the European classification (European Skills, Competencies, and Occupations). **Materials and methods.** The article provides an analysis for the original model of the European taxonomy of ESCO skills in English, and the texts of skills translated into Russian by the Yandex Translator and Google Translate automatic translation services. The article also provides a comparison of various methods for obtaining sentence attachments (cls, mean, pooling, Sentence Transformers) for various neural network models built on the transformer architecture. The results of the study show that with the help of the proposed method, it is possible to effectively implement the choice of neural network models for the task of searching for groups of semantically similar texts of requirements from online job texts. **Conclusion.** The proposed method made it possible to effectively select neural network models for the task of identifying compact groups of semantically similar texts of professional skills, which in turn will make it possible to identify groups of skills when forming profiles of professional skills, including semantically similar formulations, and profiles of entire professions. Such tools will allow you to quickly identify: key changes in the needs of the labor market at the level of individual competencies, will allow you to form an idea of the dynamics and sets of relevant competencies, will increase the effectiveness of management decisions to create digital literacy programs, retraining and advanced training, will allow you to assess competencies, will help all participants in the labor market to more accurately assess the existing trends, supply and demand in the labor market.

Keywords: neural networks, cluster analysis, professional skills, transformers, sentence transformer, ESCO, labor market, Silhouette

For citation: Nikolaev I.E., Melnikov A.V. Comparison of transformer architecture neural network models based on evaluating the vector representation compactness of semantically similar texts in the European classification skills ESCO. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):19–29. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220302

Введение

Современный рынок труда стремительно меняется. В первую очередь изменения обусловлены полномасштабным процессом цифровизации, а пандемия COVID-19 стала своего рода катализатором происходящих изменений. Изменение форм занятости, требований к соискателям, переход многих сфер деятельности в онлайн, изменение рабочих графиков, должностных инструкций и обязанностей, замена живого общения гаджетами и технологиями – все это предвестники глобальных, структурных изменений на рынке труда.

В этой связи особую актуальность и значимость приобретают исследования, направленные на создание инструментов оперативного мониторинга рынка труда на уровне отдельных компетенций, в условиях постоянных изменений требований работодателей, на основе анализа открытых данных систем онлайн-рекрутмента, в первую очередь текстовой информации из реальных онлайн-вакансий.

Такие инструменты позволят оперативно определять: ключевые изменения потребностей рынка труда на уровне отдельных компетенций, позволят сформировать представление о динамике и наборах актуальных компетенций, повысят эффективность управленческих решений по созданию программ цифровой грамотности, переподготовки и повышения квалификации, позволят осуществлять оценку компетенций, помогут всем участникам рынка труда точнее оценивать существующие тенденции, предложение и спрос на рынке труда.

Необходимость разработки таких инструментов также подтверждается на уровне федеральных проектов Российской Федерации: «Кадры для цифровой экономики» обозначена в национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации». В рамках рассматриваемого федерального проекта предполагается разработка и использование инструментов глобального мониторинга профилей компетенций человека в условиях цифрового развития, прогнозирование востребованности знаний и навыков специалистов.

Долгое время большинство исследований изменений рынка труда было связано со статистическим анализом различных экономических показателей за определенный период в той или иной отрасли: количество вакансий, заработная плата, данные по безработице. В рамках данного подхода ученые оперируют агрегированными «сухими», статистическими цифрами, пытаясь выявить изменения на стратегическом уровне. Это обстоятельство часто становится непреодолимым препятствием на пути оперативного выявления глубинных изменений в структуре и динамике изменений требований рынка труда на уровне анализа всех имеющихся данных онлайн-вакансий.

В последние годы резко вырос интерес к использованию методов искусственного интеллекта (ИИ) для анализа рынка труда. Данное направление даже получило отдельный термин – «разведка рынка труда» (LMI – labor market intelligence). Хотя единого определения LMI не существует, его можно рассматривать как разработку и реализацию алгоритмов и структур ИИ для анализа данных рынка труда в качестве поддержки для планирования политики и принятия решений [1–3].

Благодаря развитию инструментов для анализа текстов на естественном языке отдельными группами ученых делаются попытки анализировать изменения рынка труда по текстам вакансий из открытых источников [4–9]. Такой подход имеет ряд преимуществ, так как позволяет выявлять изменения на уровне отдельных профессий/специальностей, отдельных требований работодателей, например: позволяет осуществлять мониторинг онлайн-вакансий в отдельных регионах и странах в режиме реального времени; производить прогнозирование востребованности, мониторинг изменений отдельных навыков, компетенций и технологий в рамках отдельной профессии или целой отрасли, проводить оперативное сравнение аналогичных рынков труда в разных странах и регионах.

В статьях [7, 8] предложен набор инструментов для анализа РТ с применением методов машинного обучения (embeddings и кластеризация) к онлайн-вакансиям на итальянском РТ. Подход позволяет рассчитать для каждой профессии разные типы требуемых навыков. Авторами предложена методика определения профессиональных (hard) (отдельно анализируется группа цифровых навыков) и общепрофессиональных (soft) навыков, а также мера их востребованности на рынке. Оценено влияние автоматизации на социальные и цифровые навыки в профессии. Предложена методика и меры изменения профессиональной терминологии во времени, используемой при описании профессий, а также представлен инструмент для обнаружения новых навыков и новых профессий через анализ онлайн-вакансий.

В статье [9] предлагается подход на основе построения индекса цифровизации по роду занятий, используя данные из онлайн-вакансий. Этот индекс позволяет анализировать уровни и изменения спроса на цифровые навыки в Германии в период 2014–2018 гг. Показано, что доля, требующая хотя бы одного цифрового навыка, выросла с 38,1 % в 2014 году до 47,5 % в 2018 году. Показано, что высококвалифицированные должности требуют большего владения цифровыми навыками, чем низкоквалифицированные (94 % против 62 %). Показан также различный уровень проникновения цифровизации по профессиям и отраслям. Помимо индустрии информации и коммуникаций цифровизация получила распространение в сфере финансовых услуг и страхования, а также среди людей, предоставляющих профессиональные, академические и технические услуги. И наоборот, в индустрии туризма и здравоохранения требуется относительно мало цифровых навыков, как и в сфере социальных услуг.

В процессе анализа коротких текстов требований онлайн-вакансий российского рынка труда было выявлено, что одни и те же навыки могут иметь различные формулировки на естественном языке. В этой связи ключевым этапом анализа текстов требований становится этап выделения компактных групп семантически близких навыков с условием, что семантически близкие тексты должны принадлежать одной компактной группе, а семантически разные компактные группы текстов должны быть максимально удалены друг от друга.

Для решения этой задачи в работе предлагается использовать инструмент эмбедингов для цифрового представления текстовой информации. Эмбединги позволяют перейти от текстовой информации к числовым векторам, способным сохранять необходимые семантические свойства естественного языка.

Первые модели получения эмбедингов, такие как BOW [10], TFIDF [11], Word2Vec [12], «понимали» (улавливали) смысл текста только на уровне отдельных слов, без учета контекста.

Сегодня одним из наиболее перспективных и популярных подходов к анализу естественного языка и пониманию смысла текста являются нейросетевые модели, использующие механизм внимания – способность поиска взаимосвязей между различными частями текста [13], и построенные на архитектуре так называемых трансформеров. Первой такой моделью стала в 2018 году модель BERT [14], представленная компанией Google. Появление BERT произвело настоящую революцию в компьютерной лингвистике. Особенность BERT заключается в том, что он способен генерировать векторное представление, учитывает контекст для всех слов и способен лучше справляться с долгосрочными зависимостями в тексте, иными словами, дольше удерживает информацию о контексте для каждого слова [15]. В настоящее время BERT (и его производные) показывает state-of-the-art на большинстве NLP (natural language processing) и NLU (natural language understanding) задач и превосходит нейросетевые модели предыдущего поколения, такие как word2vec, LSTM и др.

В настоящее время подход на основе построения моделей естественного языка, на основе обучения глубоких нейронных сетей является наиболее эффективным. Появляются новые подходы и модели: BERT, RoBERTa [16], GPT [17], T5 [18], XLM [19] и их модификации. Эти модели универсальны и способны извлекать из текста признаки, полезные для решения множества задач текстового анализа.

Последние достижения в компьютерной лингвистике позволили перейти к эффективным векторным представлениям для целых предложений и абзацев текста. В работе [20] описан проект SentenceTransformer (SBERT), который представляет собой технологию модификации предварительно обученной сети BERT. В работе используются сиамские и триплетные сетевые структуры для получения семантически значимых векторов предложений. Это позволяет дообучать модель на задаче определения семантически близких текстов. Модели дообучают таким образом, что векторы, вычисленные ими, сохраняли смысловые отношения между фразами – похожие по смыслу предложения кодируются в близкие по метрике векторы. Для таких моделей удобно применять метод instance-based learning (обучение на основе экземпляров-примеров). В настоящее время для SentenceTransformer на сайте разработчиков опубликованы ссылки на множество предобученных моделей, в том числе и для русского языка.

В контексте задачи поиска семантически близких навыков рынка труда отдельной задачей становится поиск подходящего размеченного датасета, в котором были бы собраны и размечены семантически близкие формулировки требований рынка труда.

Анализ текстов профессиональных стандартов РФ показал, что они не содержат формулировок навыков в профессиональных терминах, которые используются в текстах требований реального рынка труда, что делает их использование совместно с нейросетевыми подходами (см. выше) нецелесообразным.

В процессе анализа англоязычных ресурсов были определены два проекта: европейская классификация навыков ESCO (далее ESCO) [21] и ONET [22, 23].

ESCO разрабатывается Европейской комиссией в Европейском центре развития профессионального образования Cedefop с 2010 года. Классификация ESCO определяет и классифицирует навыки, компетенции, квалификации, профессии и связи между ними, имеющие отношение к рынку труда ЕС, образованию и профессиональной подготовке кадров. ESCO была разработана в открытом ИТ-формате, доступна для бесплатного использования всеми и доступна через сервисную

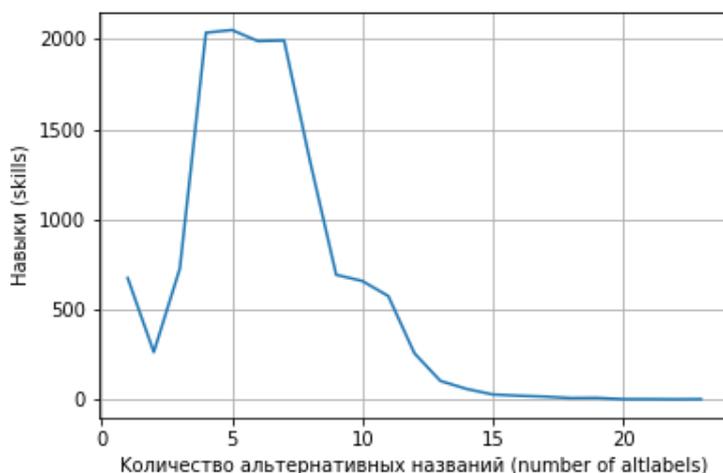
платформу. ESCO находится в постоянном развитии, базы регулярно обновляются и дополняются актуальной информацией. Результатами проекта регулярно пользуются все 28 стран – членов ЕС.

Система O*NET является американским аналогом системы ESCO. Центральным элементом проекта является база данных O*NET, содержащая сотни стандартизованных и специфичных для занятий дескрипторов почти для 1000 профессий, охватывающих всю экономику США. База данных, которая доступна для общественности бесплатно, постоянно обновляется на основании информации, поступающей от широкого круга работников каждой профессии.

В работе используется классификация навыков ESCO, так как она превосходит по количеству описанных навыков модель O*NET, а также имеет компонент, содержащий различные формулировки описания одного и того же навыка.

1. Описание датасета

В качестве основного датасета для эксперимента был выбран компонент ESCO, в котором представлен список навыков различных профессий на английском языке. Данный список содержит 13485 шт. концепций навыков, структурированных в иерархию. Каждый навык имеет приоритетное название (preferred_label) и альтернативные формулировки названий (alt_labels) (2–15 шт.), что увеличивает общую базу текстов навыков до 97 574 шт. Распределение количества альтернативных названий по навыкам представлено на рисунке.



Распределение количества альтернативных названий навыков
Distribution of the number of alternative named skills

Отдельно стоит отметить, что формулировки текстов навыков в базе ESCO представлены на естественном языке, что является большим плюсом, в контексте анализа текстов требований вакансий реального рынка труда. Также в датасете для каждого навыка присутствует поле описания (description), что может быть полезным для обогащения коротких текстов навыков дополнительной информацией в дальнейших исследованиях.

Пример названий навыков и их альтернативных названий из базы навыков ESCO представлен в табл. 1.

Примеры текстов навыков ESCO

Таблица 1

Examples of ESCO Skill Texts

Table 1

№	preferredLabel	altLabels
1	manage musical staff	manage staff of music, coordinate duties of musical staff, manage music staff, direct musical staff
49	aid customers	support clients, aid clients recommend to clients, recommend to customers, help clients, support customers, help customers
67	bend staves	bending staves, shape staves, form staves, curve staves, bow staves, bend stave

№	preferredLabel	altLabels
87	perform toxicological studies	apply toxicological testing methods, perform toxicological tests, perform toxicological study, carry out toxicological studies
134	identify available services	establish available services, determine rehabilitation services, analyse rehabilitation services, establish rehabilitation services, determine available services, analyse available services, classify available services, classify rehabilitation services
145	ensure coquille uniformity	making sure coquille is uniform, ensure uniformity of coquille, ensuring coquille uniformity, checking that coquille is uniform, ensuring uniformity of coquille, ensuring coquille is uniform, ensure coquille is uniform, ensuring of coquille uniformity, make sure coquille is uniform, check that coquille is uniform
201	manufacture ingredients	ingredients manufacture, assemble ingredients, manufacture of ingredients, produce ingredients, construct ingredients, manufacture of an ingredient, fabricate ingredients

Помимо основного датасета навыков ESCO средствами автоматического перевода Yandex (<https://translate.api.cloud.yandex.net>) и Google (<https://cloud.google.com/translate>) были получены датасеты навыков для русского языка.

2. Описание моделей и способов получения векторных представлений коротких текстов навыков

Для проведения эксперимента были отобраны следующие базовые нейросетевые модели, построенные на архитектуре трансформеров: для английского модели представлены в табл. 2; для русского языка модели представлены в табл. 3.

Базовые модели для английского языка

Таблица 2

Table 2

Basic Models for English

Название модели	Слоев / Головы	Скрытых измерений	Размер словаря	Параметры	Данные
bert-base-cased	12/12	768	28 996	109М	BookCorpus, Wikipedia
bert-large-cased	24/16	1024	28 996	336М	BookCorpus, Wikipedia
bert-base-multilingual-cased	12/12	768	119 547	110М	Wikipedia на 104 языках

Базовые модели для русского языка

Таблица 3

Table 3

Basic models for the Russian language

Название модели	Слоев / Головы внимания	Скрытых измерений	Размер словаря	Количество параметров	Данные
DeepPavlov/rubert-base-cased	12/12	768	119 547	180М	*Получена из мультязычной версии BERT путем transfer learning [25]
sberbank-ai/ruBert-base	12/12	768	120 138	178М	16 млрд токенов из различных датасетов 300 GB
sberbank-ai/ruBert-large	24/16	1024	120 138	427М	
sberbank-ai/ruT5-base	12/12	768	32 101	222М	

Для базовых моделей сравнивались основные способы получения векторов предложений:

- **CLS_vector**: первый вектор последнего скрытого слоя BERT. Считается, что CLS токен кодирует в себя всю репрезентативную информацию обо всех токенах предложения с помощью процедуры многоуровневого кодирования. Представление CLS индивидуально в разных предложениях. Этот вектор часто используют в задачах классификации предложений.

- **MEAN_vector**: средний вектор по всем векторам всех токенов на последнем скрытом слое BERT.

- **POOLER_vector**: состояние первого маркера последовательности (маркер классификации), прошедший обработку через слои, используемые для вспомогательной задачи предварительного обучения. Например, для моделей семейства BERT возвращается маркер классификации после обработки через линейный слой и функцию активации tanh. Веса линейного слоя обучаются на основе задачи прогнозирования (классификации) следующего предложения во время предварительной подготовки.

Помимо базовых моделей в эксперимент были отобраны топ 5 английских моделей из рейтинга, указанного на сайте разработчиков SentenceTransformer для английского языка (табл. 4). Полный список моделей приведен по ссылке: https://www.sbert.net/docs/pretrained_models.html#model-overview. Рейтинг моделей основан на средней производительности кодирования предложений для 14 различных задач NLP из разных предметных областей. Все модели являются универсальными и оптимизированы для многих сценариев использования.

Для русского языка были отобраны две модели, обученные для SentenceTransformer от научных групп DeepPavlov и Sberbank-AI (описание моделей представлено в табл. 5). Вектора, полученные с помощью этой библиотеки и предобученных моделей, в эксперименте отмечены SENTENCE_vector.

Таблица 4

SentenceTransformer модели для английского языка

Table 4

SentenceTransformer models for English

Название модели	Слоев / Головы внимания	Скрытых измерений	Размер словаря	Параметры	Данные
microsoft/mpnet-base	12/12	768	30 527	–	Reddit comments (15–18) S2ORC Citation pairs (Abstracts) WikiAnswers Duplicate question pairs and etc. 1B + training pairs
distilroberta-base	12/12	768	30 527	–	
microsoft/MiniLM-L12-H384-uncased	12/12	384	30 522	–	
nreimers/MiniLM-L6-H384-uncased	6/12	384	30 522	–	
sentence-transformers/multi-qa-distilbert-cos-v1	6/12	768	30 522	–	
					215 млн пар (вопрос, ответ) из разных источников

Таблица 5

SentenceTransformer модели для русского языка

Table 5

SentenceTransformer models for the Russian language

Название модели	Слоев / Головы внимания	Скрытых измерений	Размер словаря	Количество параметров	Данные
DeepPavlov/rubert-base-cased-sentence	12/12	768	119 547	180M	SNLI [26], переведенный на русский язык, и русский XNLI dev set [27]
sberbank-ai/sbert_large_nlu_ru	24/16	1024	120 138	426.9M	16 млрд токенов из различных датасетов 300 GB

3. Описание эксперимента и методика оценки

Основная задача всего эксперимента заключается в определении нейросетевой модели, способной формировать кластеры, по принципу: семантически близкие тексты требований, относящиеся к одному навыку, должны располагаться ближе друг к другу, и при этом группы текстов разных навыков должны быть удалены друг от друга. Исходя из этого в качестве основной меры оценки получаемых кластеров была выбрана оценка Силуэт [24].

Оценка Силуэт (англ. Silhouette)

Оценка Силуэт была разработана Питер Дж. Руссеу для интерпретации и проверки кластерного анализа.

Значение Силуэта показывает, насколько объект похож на свой кластер по сравнению с другими кластерами.

Оценка для всей кластерной структуры:

$$Sil(C) = \frac{1}{N} \sum_{c_k \in C} \sum_{x_i \in c_k} \frac{b(x_i, c_k) - a(x_i, c_k)}{\max\{a(x_i, c_k), b(x_i, c_k)\}} \quad (1)$$

где

$$a(x_i, c_k) = \frac{1}{|c_k|} \sum_{x_j \in c_k} \|x_i - x_j\|; \quad (2)$$

$$b(x_i, c_k) = \min_{c_l \in C \setminus c_k} \left\{ \frac{1}{|c_l|} \sum_{x_j \in c_l} \|x_i - x_j\| \right\}; \quad (3)$$

$a(x_i, c_k)$ – среднее расстояние от $x_i \in c_k$ до других объектов из кластера c_k (компактность) (2);

$b(x_i, c_k)$ – среднее расстояние от $x_i \in c_k$ до объектов из другого кластера $c_l: k \neq l$ (отделимость) (3).

Оценка $Sil(C)$ лежит в пределах от -1 до 1 . Чем ближе данная оценка к 1 , тем лучше.

Итоговый алгоритм оценки качества кластеров семантически близких коротких текстов навыков для компонента классификации навыков ESCO:

1) получение векторных представлений для текстов навыков из нейросетевых моделей методами CLS, MEAN, POOLER, SentenceTransformer;

2) вычисление оценки Силуэт для всех моделей и для всех методов получения векторных представлений текстов навыков.

4. Описание результатов

Результаты сравнения качества векторных представлений в задаче формирования кластеров семантически близких текстов требований для разных нейросетевых моделей по оценке Силуэт представлены в таблицах:

- для английского языка (табл. 6);
- для русского языка (табл. 7).

Таблица 6

Результаты сравнения нейросетевых моделей по оценке Силуэт для английского языка

Table 6

Comparison results of neural network models according to the Silhouette assessment for the English language

Name model	CLS	MEAN	POOLER	SENTENCE
bert-base-cased	0,0118	0,1111	-0,2887	
bert-large-cased	-0,1431	0,0955	-0,5180	
bert-base-multilingual-cased	-0,0111	0,0900	-0,0745	
distilroberta-base	0,1034	0,0883	0,1005	
microsoft/MiniLM-L12-H384-uncased	-0,0517	0,0386	-0,0584	0,0386
microsoft/mpnet-base	0,0575	0,0566	0,0564	0,0566
nreimers/MiniLM-L6-H384-uncased	0,0022	0,1139	-0,0025	0,1139
roberta-base	0,0642	0,0727	0,0607	0,0727
sentence-transformers/multi-qa-distilbert-cos-v1	0,1588	0,1578	0,1556	0,2585

Таблица 7

Результаты сравнения нейросетевых моделей по оценке Силуэт для русского языка

Table 7

Comparison results of neural network models according to the Silhouette assessment for the Russian language

Name model	CLS		MEAN		POOLER		SENTENCE	
	Google	Yandex	Google	Yandex	Google	Yandex	Google	Yandex
DeepPavlov/rubert-base-cased	-0,110	-0,145	0,067	0,055	-0,403	-0,389		
sberbank-ai/ruBert-base	0,030	0,026	0,116	0,111	-0,109	-0,116		
sberbank-ai/ruBert-large	0,011	-0,002	0,093	0,089	-0,27	-0,27		
sberbank-ai_ruT5-base	-0,199	-0,211	-0,06	-0,043				
sberbank-ai_ruT5-large	-0,157	-0,218	-0,020	0,001				
DeepPavlov/rubert-base-cased-sentence	0,123	0,13	0,138	0,143	0,076	0,08	0,138	0,143
sberbank-ai/sbert_large_nlu_ru	-0,019	-0,0539	0,0633	0,036	-0,129	-0,177	0,063	0,036

Особенности перевода текстов навыков с английского языка на русский с использованием сервисов автоматического перевода Яндекс и Google. В результате автоматического перевода количество уникальных текстов после перевода от Яндекса и Google снизилось с 97 574 уникальных текстов до 75 693 (22 %), и до 77 946 (20 %) соответственно. Данное обстоятельство можно объяснить тем, что мы работаем с группами текстов, изначально очень близких по смыслу, и сервисы автоматического перевода в ряде случаев просто не могут уловить особенности перевода с английского на русский и поэтому переводят часть текстов одинаково, что и приводит к снижению количества уникальных текстов.

Заключение

Рассмотренный в статье метод оценки нейросетевых моделей на основе сравнения компактности векторных представлений позволил эффективно ранжировать нейросетевые модели для задачи выделения компактных групп семантически близких текстов профессиональных навыков.

- По результатам из табл. 6 и 7 модели sentence как для английского, так и для русского языка превосходят базовые модели. Можно сделать вывод, что процесс дообучения моделей на задаче определения семантически близких предложений увеличивает качество формируемых кластеров профилей навыков из классификации ESCO.

- Среди моделей для английского языка наилучший результат по оценке Силуэт получила модель sentence-transformers/multi-qa-distilbert-cos-v1 (sentence silhouette 0,2585), это может быть обусловлено особенностями датасетов, на которых обучалась изначальная базовая модель, и наличием в них специфической лексики, что помогает модели лучше справляться в задаче формирования кластеров профилей навыков из классификации ESCO. Высокий результат также показали модели preimers/MiniLM-L6-H384-uncased (sentence silhouette 0,1139) и bert-base-cased (mean silhouette 0,1111).

- Среди моделей для русского языка также наилучший результат показали модели на основе sentence_transformer. Модель от группы DeepPavlov rubert-base-cased-sentence по оценке Силуэт значительно превосходит остальные модели для русского языка.

- На примере наилучшей модели для русского языка можно заметить небольшую, но стабильную по всем методам получения векторов предложений разницу в пользу датасета автоматического перевода от Яндекс. Этим может быть обусловлено тем обстоятельством, что перевод от Яндекс привел к снижению уникального количество текстов, что, в свою очередь, привело к сужению пространства возможных значений векторов, что в итоге дало чуть более высокий конечный результат.

Список литературы/References

1. Комиссия Великобритании по трудоустройству и профессиональным навыкам, «Важность LMI». 2015. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/the-importance-of-labour-market-intelligence> (дата обращения: 30.05.2022). [UK Commission for Employment and Skills, "The importance of LMI". 2015. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/the-importance-of-labour-market-intelligence> (accessed 30.05.2022). (In Russ.)]
2. Mezzanatica M., Mercurio F. Big data enables labor market intelligence. In: *Encyclopedia of Big Data Technologies*; 2019. P. 226–236. DOI: 10.1007/978-3-319-63962-8_276-1
3. *Concept paper on Labour Market Information System*. 2012. Available at: http://www.cgsc.in/Concept_Paper_LMIS.pdf (accessed 30.05.2022).
4. Vinel M., Ryazanov I., Botov D., Nikolaev I. Experimental Comparison of Unsupervised Approaches in the Task of Separating Specializations Within Professions in Job Vacancies. In: *Conference on Artificial Intelligence and Natural Language*. Springer, Cham; 2019. P. 99–112. DOI: 10.1007/978-3-030-34518-1_7
5. Nikolaev I., Ryazanov I., Botov D. The Comparison of Distributive Semantics Models Applied to the Task of Short Job Requirements Clustering for the Russian Labor Market. In: *8th Scientific Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support (ITIDS 2020)*. Atlantis Press; 2020. P. 295–301. DOI: 10.2991/aisr.k.201029.056
6. Giabelli A., Malandri L., Mercurio F., Mezzanatica M. GraphLMI: A data driven system for exploring labor market information through graph databases. In: *Multimedia Tools and Applications*; 2020. P. 1–30. DOI: 10.1007/s11042-020-09115-x
7. Colombo E., Mercurio F., Mezzanatica M. Applying machine learning tools on web vacancies for labour market and skill analysis. In: *The Economics and Policy Implications of Artificial Intelligence*; 2018.
8. Boselli R., Cesarini M., Marrara S., Mercurio F., Mezzanatica M., Pasi G., Viviani M. WoLMIS: a labor market intelligence system for classifying web job vacancies. *Journal of intelligent information systems*. 2018;51(3):477–502. DOI: 10.1007/s10844-017-0488-x
9. Kane L.O., Narasimhan R., Burning J.N., Taska B. *Digitalization in the German Labor Market: Analyzing Demand for Digital Skills in Job Vacancies*. Bertelsmann Stiftung; 2020.
10. Harris Z.S. Distributional structure. *Word*. 1954;10(2-3):146–162.
11. Jones K.S. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. *Journal of Documentation*. 2004;60(5):493–502. DOI: 10.1108/00220410410560573
12. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. *Efficient estimation of word representations in vector space*. 2013. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1301.3781.pdf> (accessed 30.05.2022).
13. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Polosukhin I. Attention is all you need. In: *Advances in neural information processing systems*; 2017. P. 5998–6008.
14. Devlin J., Chang M.W., Lee K., Toutanova K. *BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding*. 2018. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1810.04805.pdf> (accessed 30.05.2022).
15. Ezen-Can A. *A Comparison of LSTM and BERT for Small Corpus*. 2020. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2009.05451.pdf> (accessed 30.05.2022).
16. Liu Y., Ott M., Goyal N., Du J., Joshi M., Chen D., Stoyanov V. *RoBERTa: A robustly optimized bert pretraining approach*. 2019. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1907.11692.pdf> (accessed 30.05.2022).
17. Brown T., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J.D., Dhariwal P., Amodei D. *Language models are few-shot learners*. Available at: <https://arxiv.org/pdf/2005.14165.pdf> (accessed 30.05.2022).
18. Raffel C., Shazeer N., Roberts A., Lee K., Narang S., Matena M., Liu P.J. *Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer*. 2019. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1910.10683.pdf> (accessed 30.05.2022).
19. Lample G., Conneau A. *Cross-lingual language model pretraining*. 2019. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1901.07291.pdf> (accessed 30.05.2022).
20. Reimers N., Gurevych I. *Sentence-bert: Sentence embeddings using siamese bert-networks*. 2019. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1908.10084.pdf> (accessed 30.05.2022).

21. ESCO: *European skills, competences, qualifications and occupations*. 2018. Available at: <https://ec.europa.eu/esco/portal> (accessed 30.05.2022).

22. Peterson N.G., Mumford M.D., Borman W.C., Jeanneret P., Fleishman E.A. An occupational information system for the 21st century: The development of O* NET. In: *American Psychological Association*; 1999. DOI: 10.1037/10313-000

23. Peterson N. G., Mumford M. D., Borman W. C., Jeanneret P.R., Fleishman E.A., Levin K.Y., Dye D.M. Understanding work using the Occupational Information Network (O* NET): Implications for practice and research. *Personnel psychology*. 2001;54(2):451–492. DOI: 10.1111/j.1744-6570.2001.tb00100.x

24. Rousseeuw P.J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of computational and applied mathematics*. 1987;20:53–65. DOI: 10.1016/0377-0427(87)90125-7

25. Kuratov Y., Arkhipov M. *Adaptation of deep bidirectional multilingual transformers for Russian language*. 2019. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1905.07213.pdf> (accessed 30.05.2022).

26. Bowman S. R., Angeli G., Potts C., Manning C.D. *A large annotated corpus for learning natural language inference*. 2015. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1508.05326.pdf> (accessed 30.05.2022).

27. Conneau A., Lample G., Rinott R., Williams A., Bowman S.R., Schwenk H., Stoyanov V. *XNLI: Evaluating cross-lingual sentence representations*. 2018. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1809.05053.pdf> (accessed 30.05.2022).

Информация об авторах

Николаев Иван Евгеньевич, старший преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики, Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия; ivan_nikolaev@csu.ru.

Мельников Андрей Витальевич, д-р техн. наук, проф., директор, Югорский научно-исследовательский институт информационных технологий, Ханты-Мансийск, Россия; MelnikovAV@uriit.ru.

Information about the authors

Ivan E. Nikolaev, Senior Lecturer, Department of Information Technologies and Economic Informatics, Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russia; ivan_nikolaev@csu.ru.

Andrey V. Melnikov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director, Ugra Research Institute of Information Technologies, Khanty-Mansiysk, Russia; MelnikovAV@uriit.ru.

Статья поступила в редакцию 30.05.2022

The article was submitted 30.05.2022

НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ НА ОСНОВЕ ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ БИОМЕТРИИ

Л.А. Артюшина, larisa-artusina@yandex.ru
Е.А. Троицкая, troickiyv@mail.ru

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия

Аннотация. В отечественных нормативных документах, в частности в Национальном стандарте РФ по защите информации, обозначены три уровня доверия к результатам идентификации, основанные на некоторой степени уверенности в подлинности субъекта доступа, но не содержащей конкретных значений. В статье предложены подходы к качественной оценке информативности параметров идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе поведенческой биометрии. **Цель исследования:** оценка информативности параметров идентификации пользователя по клавиатурному почерку. **Материалы и методы исследования.** Для определения подходов к оценке информативности параметров нами были изучены и проанализированы известные научные результаты и практические решения по проблеме идентификации пользователей в информационно-телекоммуникационных компьютерных системах, размещенные в различных открытых источниках на русском и английском языках. **Основные результаты.** Выделены актуальные на сегодняшний день совокупность параметров, идентифицирующих пользователя по клавиатурному почерку, перечень зашумлений, влияющих на информативность параметров. Рассчитаны средние значения уровней надежности идентификации. Определены основные и дополнительные критерии оценки информативности параметров. В качестве основных критериев оценки надежности идентификации по клавиатурному почерку выделены коэффициенты ложного доступа и ложного отказа в доступе, общая оценка системы. В качестве дополнительных критериев выделены скорость работы, простота использования, стоимость системы. Для основных критериев обозначены показатели, которые мы предлагаем использовать в качестве оценочных характеристик, по которым можно было бы судить о степени достижения критерия: стабильность параметра в различении пользователей друг от друга; количество реализаций параметра, требуемых для обеспечения его стабильности в различении пользователей. Приведены качественные характеристики степени информативности параметров по основным критериям. Определены направления дальнейших исследований. **Заключение.** Представленные в статье перечень параметров и зашумлений, оценка надежности идентификации по критериям и соответствующим им показателям будут полезны разработчикам и исследователям для дальнейшей доработки методов идентификации с целью повышения их надежности.

Ключевые слова: методы идентификации, биометрическая идентификация пользователя, клавиатурный почерк

Для цитирования: Артюшина Л.А., Троицкая Е.А. Некоторые подходы к оценке информативности параметров идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе поведенческой биометрии // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 30–38. DOI: 10.14529/ctcr220303

SOME APPROACHES TO ASSESSING THE INFORMATIVE OF USER IDENTIFICATION PARAMETERS BY KEYBOARD HANDWRITING BASED ON BEHAVIORAL BIOMETRICS

L.A. Artyushina, larisa-artusina@yandex.ru

E.A. Troitskaya, troickiyv@mail.ru

Vladimir State University named after Alexander and Nicolay Stoletovs,
Vladimir, Russia

Abstract. Domestic normative documents, in particular the National Standard of the Russian Federation on Information Protection, outlines three levels of confidence in the results of identification, based on some degree of confidence in the authenticity of the subject of access, but not containing specific values. The article proposes approaches to qualitative assessment of informativeness of user identification parameters by keyboard handwriting on the basis of behavioral biometrics. **Objective of the study.** Evaluation of informativeness of user identification parameters by keyboard handwriting. **Materials and methods of research.** To determine approaches to assessing the informativeness of parameters, we studied and analyzed known scientific results and practical solutions on the problem of user identification in information and telecommunication computer systems, available in various open sources in Russian and English. Main results. We identified the currently relevant set of parameters, identifying the user by the keyboard handwriting; the list of noises affecting the informativeness of the parameters. Average values of identification reliability levels were calculated. The basic and additional criteria for evaluating the informativeness of the parameters were defined. False access and false denial rates and overall system evaluation were selected as basic criteria for evaluating reliability of identification by handwriting. As additional criteria the speed of operation, ease of use, the cost of the system are highlighted. For the main criteria the indicators that we propose to use as evaluation characteristics, which could be used to judge the degree of achievement of the criterion: the stability of the parameter in distinguishing users from each other; the number of implementations of the parameter, required to ensure its stability in distinguishing users. The qualitative characteristics of the degree of informativeness of the parameters on the main criteria are given. The directions for further research are defined. **Conclusion.** The list of parameters and noises presented in the article, the assessment of identification reliability by criteria and corresponding indicators will be useful to developers and researchers for further refinement of identification methods to improve their reliability.

Keywords: identification methods, biometric user identification, keyboard handwriting

For citation: Artyushina L.A., Troitskaya E.A. Some approaches to assessing the informative of user identification parameters by keyboard handwriting based on behavioral biometrics. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(3):30–38. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220303

Введение

Задаче идентификации пользователя по клавиатурному почерку посвящено большое количество работ. Этот факт обусловлен все возрастающей актуальностью информационно-телекоммуникационных компьютерных систем (ИТКС), отличительной чертой которых является выработка на основе идентификации субъекта, не обязательно являющегося пользователем, оптимальных управляющих воздействий, механизмов выявления нарушителей и построения адекватной системы защиты информации, циркулирующей в ИТКС.

Актуальность поведенческой биометрии обусловлена такими преимуществами, как неотделимость биометрической характеристики от владельца, при этом сохраняется анонимность образов (невозможность установления личности владельца по его биометрическому образу), сложность подделки, простота внедрения и реализации [1–5].

Введем необходимые рабочие определения.

Вслед за работой [6] под ИТКС будем понимать взаимосвязанную совокупность информационных ресурсов, средств вычислительной техники, телекоммуникаций, программного обеспечения, персонала и пользователей.

На основании Национального стандарта РФ по защите информации [7] в рамках тематики статьи под процедурой идентификации будем понимать действия ИТКС по присвоению конкретному субъекту идентификатора доступа и/или по сравнению предъявляемого ИТКС идентификатора с перечнем уже присвоенных идентификаторов.

Идентификатором доступа считать признак субъекта, который используется ИТКС при идентификации и однозначно определяет соотношенную с ним идентификационную информацию.

Идентификационной информацией будем считать совокупность значений идентификационных атрибутов, которая связана с конкретным субъектом.

Цель работы – оценка информативности параметров идентификации по клавиатурному почерку. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- анализ достигнутых результатов в области биометрической идентификации по клавиатурному почерку;
- на основе проведенного анализа определение актуальных на сегодняшний день:
 - перечня входных параметров (далее параметры) идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе поведенческой биометрии;
 - совокупности факторов (зашумлений), влияющих на информативность параметров;
 - основных критериев надежности идентификации пользователя ИТКС и соответствующих им показателей;
- уточнить критерии и показатели оценки степени информативности каждого из параметров;
- определить перспективы дальнейших исследований в области оценки информативности параметров идентификации по клавиатурному почерку.

1. Параметры, идентифицирующие пользователя по клавиатурному почерку

Вслед за [8] клавиатурным почерком будем считать набор динамических характеристик работы пользователя на клавиатуре.

Анализ научных публикаций по проблеме идентификации по клавиатурному почерку [1–6, 8–15] позволил нам в качестве возможных входных параметров для методов этой группы указать:

- 1) количество ошибок при наборе (частота нажатия на клавишу delete);
- 2) звуковые сигналы, воспроизводимые с помощью клавиатуры при наборе текста пользователем;
- 3) время нажатия – это период времени, в течение которого клавиша находится в нажатом состоянии;
- 4) паузы между нажатиями (в некоторых исследованиях «временные задержки при вводе») – это период времени между нажатиями клавиш;
- 5) наличие факта удержания одной из клавиш;
- 6) отсутствие факта удержания одной из клавиш;
- 7) наличие факта удержания одновременно двух клавиш;
- 8) часто используемые сочетания клавиш – предпочитаемые пользователем комбинации клавиш клавиатуры, ускоряющие его работу с ИТКС;
- 9) наличие факта использования основной или дополнительной части клавиатуры, клавиш *Shift* или *CapsLock* при вводе заглавных букв;
- 10) характер нажатий клавиш – одинарный, сдвоенный или строенный;
- 11) скорость набора – количество набираемых знаков в минуту;
- 12) общее время набора *ID*;
- 13) число перекрытий между клавишами (наложение клавиш) происходит тогда, когда одна клавиша еще не отпущена, а другая уже нажимается;
- 14) степень ритмичности при наборе – характеризует равномерность скорости набора пользователем символов *ID*;
- 15) силу давления, прилагаемого к клавише;
- 16) *flight time* (время полета) – период времени между отпусканием одной клавиши и отпусканием другой, находящейся в данный момент в режиме удержания;
- 17) *Up to Up* – период времени между последовательным отпусканием одной нажатой клавиши и затем другой нажатой клавиши.
- 18) положение кистей рук относительно клавиатуры;

- 19) количество случаев использования дополнительных клавиш в единицу времени;
- 20) скорость движения клавиш при надавливании их пользователем – вычисляется как скорость изменения ёмкости контактной площадки во времени;
- 21) вибрация клавиши при нажатии на нее;
- 22) код нажатой клавиши;
- 23) частота использования функциональных клавиш и комбинаций применительно к одному и тому же классу устройств ввода.

На основе анализа работ [1–6, 8–16] нами также была определена совокупность факторов (зашумлений), влияющих на информативность параметров:

- 1) эмоциональное состояние;
- 2) зависимость особенностей работы пользователя от характера выполняемых задач и времени суток;
- 3) степень покрытия символами, используемыми для идентификации, поля клавиатуры компьютера;
- 4) возможность набора пользователем идентификационной фразы одной рукой (или одним пальцем) по его желанию или по причине травмы конечности;
- 5) технические характеристики клавиатуры: форма (прямая, эргономичная и т. д.), степень легкости нажатия на клавишу, расположение клавиш (QWERTY, AZERTY и т. д.);
- 6) зависимость между стабильностью клавиатурного почерка и уровнем пользователя;
- 7) нерегулярный характер работы пользователя за компьютером;
- 8) зависимость точности измерения таймера, захватывающего время, в течение которого произошло событие на клавиатуре, от установленной на компьютере операционной системы и языка программирования.

Проведенный анализ позволил сделать следующие выводы.

1. Признавая факт влияния зашумлений на информативность параметров, исследователи не уделяют изучению этого вопроса должного внимания. Из научных публикаций не ясно, какова взаимосвязь зашумлений и параметров, а также, как именно зашумления влияют на информативность параметров.

2. В силу большого количества для решения задачи идентификации параметры необходимо ранжировать по степени их информативности, т. е. значимости в смысле надежности идентификации в результате измерения значений параметра.

В работах [17] показано, что при наличии пяти анализируемых параметров создание системы идентификации весьма проблематично, а при десяти – практически невозможно. Упорядочивание позволит отсеять наименее информативные параметры, уменьшить размер обучающей выборки и, как следствие, получить максимальное значение целевой функции, характеризующей вероятность принадлежности клавиатурного почерка конкретному пользователю.

В нормативных документах, в частности в Национальном стандарте РФ по защите информации [7], обозначены три уровня доверия к результатам идентификации (низкий, средний, высокий), основанные на некоторой степени уверенности в подлинности субъекта доступа, но не содержащей конкретных значений. Для решения задачи идентификации необходимо иметь конкретные значения нормы этой степени уверенности.

Основываясь на исследованиях [18, 19], мы рассчитали средние значения уровней надежности идентификации (НИ):

- высокий – $НИ \geq 90 \%$;
- средний – $87 \% \leq НИ < 90 \%$;
- низкий – $НИ < 87 \%$.

2. Критерии и показатели оценки информативности параметров идентификации по клавиатурному почерку

В современных исследованиях надежность идентификации пользователя определяется с помощью трех основных критериев [3, 11, 12, 19–21]:

- 1) FAR-коэффициент ложного доступа, т. е. вероятность допуска незарегистрированного пользователя или «ошибка 2-го рода»;
- 2) FRR-коэффициент ложного отказа в доступе, «ошибка 1-го рода»;

3) EER (или CER) – общая оценка системы (или средняя интегральная ошибка), описывается при помощи равного уровня ошибок $FAR = FRR$.

Следует отметить, что в оценке надежности идентификации исследователями и разработчиками в основном используются FAR- и FRR-критерии (в 18 из 25 проанализированных нами работ) и редко (в 3 из 25) ERR-критерий.

Исследователи указывают также на ряд дополнительных критериев, таких как скорость работы, простота использования, стоимость системы и т. д.

Однако, обозначая критерии, исследователи четко не определяют оценочные характеристики, по которым можно было бы судить о степени достижения критерия.

Для того чтобы ранжировать указанные выше параметры по трем основным критериям, мы обозначили соответствующие им показатели. Мы связали с показателем характеристики, по значению которых можно было бы судить о степени достижения критерия.

Основываясь на результатах анализа работ [1–25], для основных критериев в качестве показателей мы выделили:

- стабильность параметра в различении пользователей друг от друга, а именно:
 - для FAR-коэффициента – стабильно малая величина вероятности ложного доступа при наличии различных зашумлений из указанного перечня;
 - FRR-коэффициента – стабильно малая величина вероятности ложного отказа в доступе при наличии различных зашумлений из указанного перечня;
 - EER-коэффициента – стабильно малая величина средней интегральной ошибки при наличии различных зашумлений из указанного перечня;
- количество реализаций параметра, требуемых для обеспечения его стабильности в различении пользователей (КРП).

3. Характеристика степени информативности параметров по FAR-, FRR-, EER-критериям

Основываясь на результатах исследований, представленных в работах [1–25], и выделенных показателях, приведем характеристику степени информативности параметров по критериям.

По FAR-критерию:

- высокая степень – $0,01 \leq FAR \leq 0,02$;
- средняя степень – $0,02 < FAR \leq 0,03$;
- низкая степень – $FAR > 0,03$.

Допустимая величина ложных срабатываний обуславливается принятым соглашением заинтересованных сторон и характеризуется частотой ложных срабатываний системы (ЧЛСС).

Охарактеризуем степень информативности параметра по FRR-критерию:

- высокая степень – $ЧЛСС \leq 1 \%$;
- средняя степень – $1 \% < ЧЛСС \leq 3 \%$;
- низкая степень – $ЧЛСС > 3 \%$.

Охарактеризуем степень информативности параметров по ERR-критерию:

- высокая степень – $0 \leq ERR \leq 0,00372$;
- средняя степень – $0,00372 < ERR \leq 0,14$;
- низкая степень – $ERR > 0,14$.

Рассмотрим четвертый критерий оценки надежности идентификации пользователя – количество реализаций параметра, требуемых для обеспечения его стабильности в различении пользователей.

В работе [17] показано, что для большинства признаков клавиатурного почерка для надежной идентификации достаточно 26 реализаций параметра. Анализ других исследований, посвященных проблеме идентификации по клавиатурному почерку, показал большой разброс значений КРП, обеспечивающих высокий уровень идентификации. Так, в [13] – 10 реализаций параметра, в [24] – 30, в [17, 25] значения варьируются в пределах от 21 до 24.

Основываясь на этих результатах, дадим характеристику степени информативности параметров по КРП-критерию:

- высокая степень – 24–26 реализаций;
- средняя степень – 16–23 реализации;
- низкая степень – менее 16 реализаций.

Сводная таблица критериев и уровней их достижения представлена ниже.

Характеристики уровней степени информативности параметров клавиатурного почерка (по критериям)
Characteristics of the levels of the degree of informativity of the parameters of keyboard handwriting (according to criteria)

№	Название критерия	Характеристика степени информативности параметров по критериям
1	FAR	– высокая степень – $0,01 \leq FAR \leq 0,02$; – средняя степень – $0,02 < FAR \leq 0,03$; – низкая степень – $FAR > 0,03$
2	FRR	– высокая степень – $ЧЛСС \leq 1\%$; – средняя степень – $1\% < ЧЛСС \leq 3\%$; – низкая степень – $ЧЛСС > 3\%$
3	ERR	– высокая степень – $0 \leq ERR \leq 0,00372$; – средняя степень – $0,00372 < ERR \leq 0,14$; – низкая степень – $ERR > 0,14$
4	КПИ	– высокая степень – 24–26 реализаций; – средняя степень – 16–23 реализации; – низкая степень – менее 16 реализаций

Заключение

Проведенный нами анализ результатов исследований по проблеме идентификации пользователя по клавиатурному почерку показал, что оценка информативности параметров производится по FAR-, FRR-, CER-критериям. Однако показатели степени достижения критерия описаны в нормативных документах в общем виде, без указания конкретного диапазона значений, что, на наш взгляд, позволяет исследователям слишком широко, в смысле надежности идентификации, трактовать полученные ими результаты. В статье представлена попытка решения обозначенной проблемы.

Направления дальнейшего исследования проблемы:

1. В работе представлена совокупность параметров, идентифицирующих пользователя по клавиатурному почерку, и зашумлений, влияющих на их информативность. Очевидно, дальнейшее исследование связано с расширением состава этой совокупности и с ее систематизацией, а также изучением влияния зашумлений на информативность параметров.

2. Вопрос степени достижения FAR- и FRR-критериев изучен достаточно хорошо, для ERR- и КПР-критериев требуются более обстоятельные и глубокие исследования.

Таким образом, исследуемая проблема многоаспектна и не может быть исчерпана настоящей работой. Требуются объединенные усилия ученых различных профилей для рассмотрения как можно большего количества связей и отношений в ней.

Список литературы

1. Сапиев А.З. Идентификация пользователей сети по клавиатурному почерку // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. 2020. № 4 (10). С. 45–46.

2. Пашенко Д.В., Бальзанникова Е.А. Метод идентификации пользователя по клавиатурному почерку с использованием модели доверия // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021. № 3 (55). С. 96–99. DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0018

3. Казачук М.А. Динамическая аутентификация пользователей на основе анализа работы с клавиатурой компьютера: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 05.13.11. М.: Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, 2019. 155 с.

4. Исследование системы идентификации и подтверждения легитимности доступа на основе динамических методов биометрической аутентификации / М.М. Пулято, А.С. Макарян, Ш.М. Чич, В.К. Маркова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. 2020. № 3 (51). С. 83–93. DOI: 10.21672/2074-1707.2020.51.1.083-093

5. Еременко Ю.И., Олюнина Ю.С. Об обработке потока данных с целью выявления скрытых характеристик клавиатурного почерка // *Материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. «Современные сложные системы управления. HTCS'2017»*. Липецк: Липецкий гос. техн. ун-т, 2017. Ч. 2. С. 31–36.
6. Модели обеспечения достоверности и доступа информации в информационно-телекоммуникационных системах / М.Ю. Монахов, Ю.М. Монахов, Д.А. Полянский, И.В. Семенова. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. 208 с.
7. ГОСТ Р 58833–2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Защита информации. Идентификация и аутентификация. М.: Стандартинформ, 2020. 32 с.
8. Горохова Е.С. Алгоритмы распознавания компьютерного почерка / под ред. Т.Е. Мамоновой // *Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных*. Томск: Нац. исслед. Томский политехн. ун-т, 2016. С. 83–84.
9. Еременко Ю.И., Олюнина Ю.С. Об определении наиболее значимых параметров клавиатурного почерка с помощью регрессионного анализа // *Системы управления и информационные технологии*. 2018. № 2 (72). С. 28–31.
10. Еременко А.В., Сулавко А.Е. Двухфакторная аутентификация пользователей компьютерных систем на удаленном сервере по клавиатурному почерку // *Прикладная информатика*. 2015. № 6 (60). С. 48–59.
11. Аверин А.И., Сидоров Д.П. Аутентификация пользователей по клавиатурному почерку. URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/autentifikaciya-polzovatelej-po-klaviaturnomu-pocherku> (дата обращения: 17.06.2022).
12. Аюпова А.Р., Якупов А.Р., Шабалкина А.А. Аутентификация по клавиатурному почерку: выгоды и проблемы использования // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 12-5 (66). С. 55–58. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.123
13. Васильев В.И., Калямов М.Ф., Калямова Л.Ф. Идентификация пользователей по клавиатурному почерку с применением алгоритма регистрации частых биграмм // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2018. Т. 6, № 1. С. 399–407.
14. Довгаль В.А. Захват параметров клавиатурного почерка и его особенности / отв. ред. Н.Н. Олейников // *Информационные системы и технологии в моделировании и управлении: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал»*, 2017. С. 230–236.
15. Identity Theft, Computers and Behavioral Biometrics / R. Moskovitch, C. Feher, A. Messerman et al. URL: <https://www.ise.bgu.ac.il/faculty/liorr/idth.pdf> (дата обращения: 01.06.2022).
16. Распознавание психофизиологических состояний пользователей на основе скрытого мониторинга действий в компьютерных системах / В.И. Васильев, А.Е. Сулавко, Р.В. Борисов и др. // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2017. № 3. С. 21–37.
17. Сулавко А.Е., Еременко А.В. Метод сжатия собственных областей классов образов в пространстве малоинформативных признаков // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2014. № 2. С. 102–109.
18. Асаяев Г.Д., Рагозин А.Н. Определение минимального набора входных данных для корректной аутентификации по клавиатурному почерку с использованием нейронной сети // *Вестник УрФО*. 2017. № 3 (25). С. 19–23.
19. Шарипов Р.Р., Ситников А.Н. Проблемы при разработке систем распознавания пользователей по клавиатурному почерку // *Вестник технологического университета*. 2019. Т. 22, № 10. С. 143–147.
20. Брюхомицкий Ю.А., Казарин М.Н. Тестирование биометрических систем контроля доступа // *Информационное противодействие угрозам терроризма*. 2006. № 8. С. 168–180.
21. Григорьев В.Р., Никитин А.П. Использование статических методов для биометрической идентификации пользователя // *Вестник РГГУ. Серия: Документоведение и архивоведение. Информатика. Защита информации и информационная безопасность*. 2012. № 14 (94). С.135–143.
22. Костюченко Е.Ю., Мещеряков Р.В. Распознавания пользователя по клавиатурному почерку на фиксированной парольной фразе в компьютерных системах // *Известия ТРТУ*. 2003. № 4 (33). С. 177–178.
23. Hidden Authentication of the User Based on Neural Network Analysis of the Dynamic Profile /

A. Sivova, A. Vulfin, K. Mironov, A. Kirillova. URL: <http://dx.doi.org/10.25673/32764> (дата обращения: 01.04.2022).

24. Искандарова З.А. Методы повышения надежности идентификации пользователей компьютерных систем по написанию паролей // Энигма. 2020. № 27-3. С. 162–172.

25. Сулавко А.Е., Федотов А.А., Еременко А.В. Распознавание пользователей компьютерных систем по клавиатурному почерку с учетом параметров вибрации и давления на клавиши // Динамика систем, механизмов и машин. 2017. Т. 5, № 4. С. 95–105. DOI: 10.25206/2310-9793-2017-5-4-95-105

References

1. Sapiev A.Z. [Identification of network users by keyboard handwriting]. *Bulletin of Vologda state university. Series technical sciences*. 2020;4(10):45–46. (In Russ.)

2. Pashchenko D.V., Bal'zannikova E.A. [Method of user identification by keyboard handwriting using the trust model]. *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2021;3(55):96–99. DOI: 10.46548/21vek-2021-1055-0018 (In Russ.)

3. Kazachuk M.A. *Dinamicheskaya autentifikatsiya pol'zovateley na osnove analiza raboty s klaviaturoy komp'yutera: dis. fiz.-mat. nauk* [Dynamic User Authentication Based on Computer Keyboard Operation Analysis. Cand. sci. diss.]. Moscow; 2019. 155 p. (In Russ.)

4. Putyato M.M., Makaryan A.S., Chich Sh.M., Markova V.K. [Research of the system of identification and confirmation of the legitimacy of access based on dynamic methods of biometric authentication]. *Caspian journal: control and high technologies*. 2020;3(51):83–93. (In Russ.) DOI: 10.21672/2074-1707.2020.51.1.083-093 (In Russ.)

5. Yeremenko Yu. I., Olyunina Yu.S. [About data stream processing in order to reveal hidden characteristics of keyboard handwriting]. In: *Materialy XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Sovremennyye slozhnyye sistemy upravleniya. HTCS'2017"* [Materials of the XII International scientific and practical conference "Modern complex control systems. HTCS'2017"]. Lipetsk; 2017. Part 2. P. 31–36. (In Russ.)

6. Monakhov M.Yu., Monakhov Yu.M., Polyanskiy D.A., Semenova I.V. *Modeli obespecheniya dostovernosti i dostupa informatsii v informatsionno-telekommunikatsionnykh sistemakh* [Models for ensuring the reliability and access of information in information and telecommunication systems]. Vladimir: Vladimir St. Univ.; 2015. 208 p. (In Russ.)

7. *GOST R 58833–2020. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Zashchita informatsii. Identifikatsiya i autentifikatsiya* [State Standard R 58833–2020. National Standard of the Russian Federation. Information protection. Identification and Authentication]. Moscow: Standartinform Publ.; 2020. 32 p. (In Russ.)

8. Gorokhova E.S. [Computer handwriting recognition algorithms]. In: *Sbornik trudov XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Proceedings of the XIII International Scientific-Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists]. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University; 2016. P. 83–84. (In Russ.)

9. Yeremenko Yu.I., Olyunina Yu.S. [On determining the most significant parameters of keyboard handwriting using regression analysis]. *Sistemy upravleniya i informatsionnyye tekhnologii*. 2018;2(72):28–31. (In Russ.)

10. Eremenko A.V., Sulavko A.E. [Two-factor authentication of users of computer systems on a remote server by keyboard handwriting]. *Prikladnaya informatika*. 2015;6(60):48–59. (In Russ.)

11. Averin A.I., Sidorov D.P. *Autentifikatsiya pol'zovateley po klaviaturnomu pocherku* [User authentication by keyboard handwriting]. Available at: <http://journal.mrsu.ru/arts/autentifikatsiya-polzovateley-po-klaviaturnomu-pocherku> (accessed 17.06.2022). (In Russ.)

12. Ayupova A.R., Yakupov A.R., Shabalkina A.A. Keyboard rhythm authentication: benefits and problems of use. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2017;12-5(66):55–58. DOI: 10.23670/IRJ.2017.66.123 (In Russ.)

13. Vasil'yev V.I., Kalyamov M.F., Kalyamova L.F. [Identification of users by keyboard handwriting using the algorithm for registering frequent bigrams]. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii*. 2018;6(1):399–407. (In Russ.)

14. Dovgal' V.A. [Capturing keyboard handwriting parameters and its features]. In: *Informatsionnyye sistemy i tekhnologii v modelirovanii i upravlenii: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.*

[Information systems and technologies in modeling and management: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Simferopol': Arial Publ.; 2017. P. 230–236. (In Russ.)

15. Robert Moskovitch, Clint Feher, Arik Messerman et al. Identity Theft, Computers and Behavioral Biometrics. Available at: <https://www.ise.bgu.ac.il/faculty/liorr/idth.pdf> (accessed 01.06.2022). (In Russ.)

16. Vasil'ev V.I., Sulavko A.E., Borisov R.V., Zhumazhanova S.S. [Recognition of psychophysiological states of users based on covert monitoring of actions in computer systems]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy*. 2017;(3):21–37. (In Russ.)

17. Sulavko A.E., Eremenko A.V. [A method for compressing eigenregions of image classes in the space of uninformative features]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy*. 2014;(2):102–109. (In Russ.)

18. Asyaev G.D., Ragozin A.N. [Determination of the minimum set of input data for correct authentication by keyboard handwriting using a neural network]. *Vestnik UrFO*. 2017;3(25):19–23. (In Russ.)

19. Sharipov R.R., Sitnikov A.N. [Problems in the development of systems for recognizing users by keyboard handwriting]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2019;22(10):143–147. (In Russ.)

20. Bryukhomitskiy Yu.A., Kazarin M.N. [Testing biometric access control systems]. *Informatsionnoye protivodeystviye ugrozam terrorizma*. 2006;(8):168–180. (In Russ.)

21. Grigor'ev V.R., Nikitin A.P. [Using static methods for biometric user identification]. *RSUH / RGGU bulletin. Series: Records management and archive studies. Computer science. Data protection and information security*. 2012;14(94):135–143. (In Russ.)

22. Kostyuchenko E.Yu., Meshcheryakov R.V. [User recognition by keyboard handwriting on a fixed passphrase in computer systems]. *Proceedings of the Taganrog State Radio Engineering University*. 2003;4(33):177–178. (In Russ.)

23. Anastasiya Sivova, Alexey Vulfin, Konstantin Mironov, Anastasiya Kirillova. *Hidden Authentication of the User Based on Neural Network Analysis of the Dynamic Profile*. Available at: <http://dx.doi.org/10.25673/32764> (accessed 01.04.2022).

24. Iskandarova Z.A. [Methods for improving the reliability of user identification of computer systems by writing passwords]. *Enigma*. 2020;27-3:162–172. (In Russ.)

25. Sulavko A.E., Fedotov A.A., Eremenko A.V. [Recognition of users of computer systems by keyboard handwriting, taking into account the parameters of vibration and pressure on the keys]. *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin*. 2017;5(4):95–105. DOI: 10.25206/2310-9793-2017-5-4-95-105. (In Russ.)

Информация об авторах

Артюшина Лариса Андреевна, канд. пед. наук, магистр направления «Информационные системы и технологии», доц. кафедры информатики и защиты информации, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия; larisa-artusina@yandex.ru.

Троицкая Елена Анатольевна, канд. пед. наук, доц. кафедры информатики и защиты информации, Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия; troickiyv@mail.ru.

Information about the authors

Larisa A. Artyushina, Cand. Sci. (Education), Master's degree in Information Systems and Technologies, Ass. Prof. of the Department of Informatics and Information Protection, Vladimir State University named after Alexander and Nicolay Stoletovs, Vladimir, Russia; larisa-artusina@yandex.ru.

Elena A. Troitskaya, Cand. Sci. (Education), Ass. Prof. of the Department of Informatics and Information Protection, Vladimir State University named after Alexander and Nicolay Stoletovs, Vladimir, Russia; troickiyv@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 21.06.2022

The article was submitted 21.06.2022

РАСПОЗНАВАНИЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЗЕРЕН С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ VGG-16

Ю.Б. Камалова, YBKamalova@fa.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0822-2161>

Н.А. Андриянов, naandriyanov@fa.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0735-7697>

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия

Аннотация. В статье приводится результат эксперимента по применению трансферного обучения с помощью сверточной нейронной сети Visual Geometry Group with 16 layers (VGG-16) применительно к задаче распознавания пыльцевых зерен на изображениях. Анализ информационно-теоретической базы по применению алгоритмов машинного обучения к задаче классификации пыльцевых зерен за последние несколько лет показал необходимость разработки (применения) нового метода к распознаванию изображений пыльцевых зерен, полученных с помощью оптического микроскопа. В настоящее время автоматическая классификация для идентификации пыльцы становится очень активной областью исследований. В статье обоснована задача автоматизации классификации пыльцевых зерен. Целью исследования является анализ эффективности и точности классификации микроскопических изображений пыльцевых зерен с помощью трансферного обучения сверточной нейронной сети VGG-16. Трансферное обучение было выполнено с помощью нейронной сети VGG-16, имеющей 13 сверточных слоев, группируемых в 5 блоков с пулингом и 3 сглаживающих слоя на выходе. Поскольку применяется трансферное обучение, то количество эпох обучения можно выбрать небольшим. У данной сети меняются только сглаживающие выходные слои, а извлечение признаков осуществляется с весами классической модели. Поэтому было выбрано использовать 10 эпох обучения. Другие гиперпараметры – регуляризация Drop Out с вероятностью 50 %, метод оптимизации – ADAM, функция активации – sigmoid, функция потерь – кросс-энтропия, размер батча – 32 изображения. В результате за счет настройки гиперпараметров модели и использования аугментаций удалось достичь доли верных распознаваний порядка 80 %. При этом в связи с разным количеством обучающих примеров частные характеристики по классам несколько отличаются. Так, максимальные точность и полнота достигают 94 и 83 % соответственно для типа Одуванчик. В будущем планируются исследования для применения аугментации в качестве предобработки для создания сбалансированной выборки. За счет применения сверточной нейронной сети VGG-16 к задаче распознавания изображений пыльцевых зерен были достигнуты высокие показатели точности и эффективности метода.

Ключевые слова: машинное обучение, сверточные нейронные сети, задачи распознавания пыльцевых зерен, пыльцевые зерна, классификация, VGG-16

Благодарности: За предоставленные микроскопические снимки пыльцевых зерен авторы благодарят профессора кафедры ботаники и генетики растений, заведующего лабораторией цитогенетики и генетических ресурсов растений Пермского государственного университета Л.В. Новоселову и сотрудников кафедры.

Для цитирования: Камалова Ю.Б., Андриянов Н.А. Распознавание микроскопических изображений пыльцевых зерен с помощью сверточной нейронной сети VGG-16 // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 39–46. DOI: 10.14529/ctcr220304

RECOGNITION OF MICROSCOPIC IMAGES OF POLLEN GRAINS USING THE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK VGG-16

Yu.B. Kamalova, YBKamalova@fa.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0822-2161>
N.A. Andriyanov, naandriyanov@fa.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0735-7697>
Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia

Abstract. The article presents the result of an experiment on the application of transfer learning using the Visual Geometry Group with 16 layers (VGG-16) convolutional neural network in relation to the problem of recognizing pollen grains in images. An analysis of the information-theoretical base on the application of machine learning algorithms to the problem of classifying pollen grains over the past few years has shown the need to develop (apply) a new method for recognizing images of pollen grains obtained using an optical microscope. Currently, automatic classification for pollen identification is becoming a very active area of research. The article substantiates the task of automating the classification of pollen grains. The aim of the study is to analyze the efficiency and accuracy of classifying microscopic images of pollen grains using transfer learning of the VGG-16 convolutional neural network. Transfer learning was performed using the VGG-16 neural network, which has 13 convolutional layers grouped into 5 blocks with pooling and 3 smoothing layers at the output. Since transfer learning is used, the number of training epochs can be chosen to be small. For this network, only the smoothing output layers change, and the feature extraction remains the same as in the classical model. Therefore, it was chosen to use 10 training epochs. Other hyperparameters are as follows: Drop Out regularization with a probability of 50%, optimization method is ADAM, activation function is sigmoid, loss function is cross-entropy, batch size is 32 images. As a result, by adjusting the hyperparameters of the model and using augmentation, it was possible to achieve a share of correct recognitions of about 80%. At the same time, due to the different number of training examples, the particular characteristics of the classes differ somewhat. Thus, the maximum precision and recall reach 94% and 83%, respectively, for the Dandelion type. In the future, studies are planned to use augmentation as a preprocessing to create a balanced sample. By applying the VGG-16 convolutional neural network to the problem of pollen grain image recognition, high accuracy and efficiency of the method were achieved.

Keywords: machine learning, convolutional neural networks, pollen grain recognition problems, pollen grains, classification, VGG-16

Acknowledgments: The authors thank L.V. Novoselova, Professor of the Department of Botany and Plant Genetics, Head of the Laboratory of Cytogenetics and Plant Genetic Resources of Perm State University, and the staff of the Department for providing microscopic images of pollen grains.

For citation: Kamalova Yu.B., Andriyanov N.A. Recognition of microscopic images of pollen grains using the convolutional neural network VGG-16. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(3):39–46. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220304

Введение

Применение методов машинного обучения на основе глубоких нейронных сетей показало высокую эффективность и точность в решении различных задач, таких как распознавание изображений на фотографиях, полученных с помощью оптического микроскопа.

В настоящее время методы машинного обучения легли в основу приложений для классификации объектов, обеспечивая высокоточные результаты для крупномасштабных наборов данных с несколькими классами [1].

Технологии машинного обучения применяются для решения задач распознавания микроскопических изображений различных биологических объектов, в том числе пыльцевых зерен.

Классификация видов и типов пыльцы является важной задачей во многих областях, таких как судебная палинология, археологическая палинология и мелиссопалинология [2].

Автоматизация классификации пыльцевых зерен окажет большое влияние на разработку недорогих инструментов для аэробиологов.

Пчеловодство – это искусство выращивания пчел с целью добиться от этой отрасли максимальной производительности при минимальных затратах. К продуктам пчеловодства относят воск, пыльцу, мед, прополис и маточное молочко.

Развитие и автоматизация технологий пчеловодства способствует развитию животноводства и защите окружающей среды (апимониторинг).

В наше время задача распознавания пыльцевых зерен актуальна из-за отсутствия всеобщей международной базы данных пыльцевых зерен, которая могла бы пополняться.

Пыльцевой анализ меда используется для дифференциации цветочного источника, который используют пчелы, периода сбора урожая и геоклиматических условий различных регионов, палеоклиматической реконструкции [3].

Необходимость автоматизации классификации изображений зерен пыльцы обусловлена тем, что пыльцевой анализ меда должен производиться по ГОСТ 31769–2012 «Мед. Метод определения частоты встречаемости пыльцевых зерен» [4], согласно которому количество пыльцевых зерен в различных видах медов регламентировано.

Количество пыльцевых зерен определяется в палинологической лаборатории оператором вручную, что допускает вероятность совершения различного рода ошибок и медленность процесса. Для экономии времени и энергии, для большей эффективности процесса классификации необходима его автоматизация.

Цель работы – анализ эффективности и точности классификации микроскопических изображений пыльцевых зерен с помощью трансферного обучения сверточной нейронной сети VGG-16.

Цель машинного обучения состоит в том, чтобы обучить алгоритм с переменными параметрами для принятия правильного решения по заданной задаче.

Глубокое обучение является такой областью машинного обучения, которая направлена на получение определенных знаний на основе примеров. Обучение с учителем, распространенное в задаче классификации, происходит таким образом, что разработчик не задает правила для решения задачи, а предоставляет модель, с помощью которой компьютер сравнивает примеры, и, помимо этого, задаются определенные инструкции для модификации на случай ошибки. С каждым обучением модель должна улучшиться так, чтобы как можно более точно решать поставленные задачи.

На основе анализа просмотренных работ можно сделать вывод: среди применяемых систем наибольшую актуальность имеют многослойные сверточные нейронные сети. Однако модификация, цели и способы применения или, говоря другими словами, приложения данного инструмента различаются от эксперимента к эксперименту.

Целью рассмотренных работ [5–14] по распознаванию пыльцы является повышение точности классификации пыльцевых зерен.

Автоматизация анализа пыльцевых зерен зависит от создания выборок изображений, содержащих множество экземпляров разных видов, классифицированных экспертами. Эта задача требует больших усилий и должна выполняться в подходящих условиях с использованием специального оборудования, такого как оптический микроскоп и предметные стекла.

В 2020 году состоялось соревнование Pollen Grain Classification Challenge [15, 16], для которого была разработана база данных пыльцевых зерен Pollen 13K примерно с 13 тысячами изображений пыльцевых зерен в пяти различных категориях из аэриобиологических образцов [17]. Pollen13K содержит более 12 тысяч изображений пыльцевых зерен, включая примеры «помех», таких как пыль, пузырьки воздуха на подложках и другие.

Самой перспективной для использования в целях обучения и тестирования нейронных сетей является Pollen13K.

Методика проведения эксперимента

На основе предоставленных Лабораторией цитогенетики и генетических ресурсов растений кафедры ботаники и генетики растений Пермского государственного университета микроскопических снимков пыльцевых зерен (в частности, профессором Л.В. Новоселовой) были сформированы обучающая и проверочная выборки из образцов трех типов.

Структура выборки представлена в табл. 1.

На рис. 1 представлены примеры изображений каждого класса.

Распределение выборок

Table 1

Sample distribution

Класс	Тип выборки		
	Обучающая	Тестовая	Всего
1 – тип Липа	160	40	200
2 – тип Подсолнечник	286	18	304
3 – тип Одуванчик	1143	286	1429

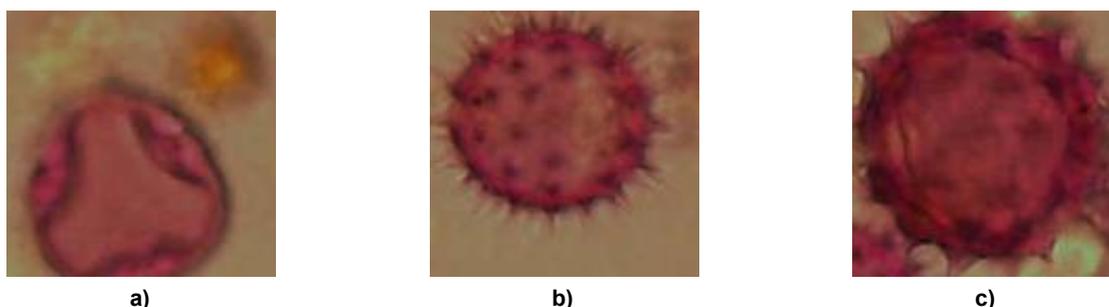


Рис. 1. Примеры изображений: а – пыльцевое зерно Липы, б – пыльцевое зерно Подсолнечника, с – пыльцевое зерно Одуванчика
Fig. 1. Sample images: a – Linden pollen, b – Sunflower pollen, c – Dandelion pollen

Будем выполнять трансферное обучение с помощью нейронной сети VGG-16 [18]. Данная сеть имеет 13 сверточных слоев, группируемых в 5 блоков с пулингом и 3 сглаживающих слоя на выходе. Поскольку применяется трансферное обучение, то количество эпох обучения можно выбрать небольшим. По сути, у сети меняются только сглаживающие выходные слои, а извлечение признаков остается, как в классической модели. Поэтому используется всего 10 эпох обучения. Другие гиперпараметры – регуляризация Drop Out [19] с вероятностью 50 %, метод оптимизации – ADAM, функция активации – sigmoid, функция потерь – кросс-энтропия, размер батча – 32 изображения. Результаты обучения (в смысле метрики достоверности ассигасу и целевой функции кросс-энтропии) представлены на рис. 2. Здесь красным показаны характеристики для обучающей выборки, а зеленым – для тестовой.

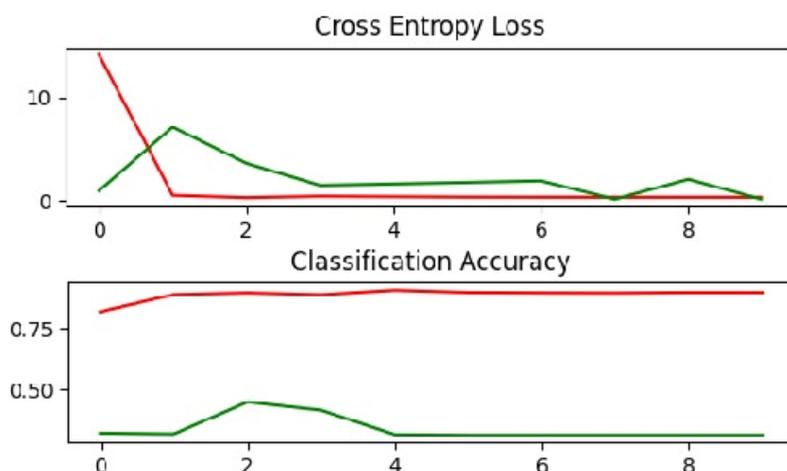


Рис. 2. Процесс обучения модели без аугментации
Fig. 2. The process of training the model without augmentation

Анализ представленного рис. 2 показывает, что, несмотря на достаточно быструю сходимость модели, результаты получаются неудовлетворительными. Это связано с тем, что в качестве функции активации используется сигмоида. Кроме того, сильное различие показателей на тесте и обучении (больше 50 %) может свидетельствовать о переобученности модели.

Чтобы бороться с данным эффектом, будем использовать технологии аугментирования [20]. Вкратце данная технология позволяет на основе обучающей выборки искусственно сгенерировать дополнительные изображения для каждого класса, что потенциально обеспечивает уход модели от переобучения. Аугментация будет применяться на уровне батча. Наконец, изменим функцию активации на softmax. Процесс обучения такой модели показан на рис. 3.

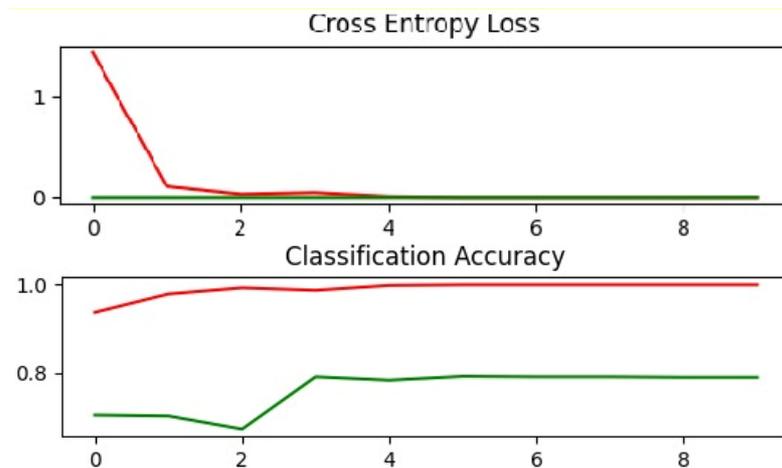


Рис. 3. Процесс обучения модели с аугментацией
 Fig. 3. The process of training a model with augmentation

Как видно из рис. 3, удалось значительно повысить метрику ассигасу на тестовой выборке. Она составила порядка 80 %. В связи с несбалансированностью датасета (см. табл. 1) дополнительно рассмотрим другие метрики данной модели. Результаты оценки точности (precision) и полноты (recall) представлены в табл. 2.

Метрики эффективности

Таблица 2

Performance Metrics

Table 2

Истинные значения	Прогнозные значения			Точность	Полнота
	Липа	Подсолнечник	Одуванчик		
Липа	28	3	9	0,4	0,7
Подсолнечник	3	9	6	0,3913	0,5
Одуванчик	39	11	236	0,94024	0,82517

Таким образом, видим, что наиболее хорошо модель научилась работать с одуванчиками. Это связано с тем, что таких примеров было гораздо больше в обучающей выборке.

Заключение

В проведенном исследовании было выполнено трансферное обучение модели сверточной сети VGG-16 для решения задачи распознавания пыльцы. За счет настройки гиперпараметров модели и использования аугментаций удалось достичь доли верных распознаваний порядка 80 %. При этом в связи с разным количеством обучающих примеров частные характеристики по классам несколько отличаются. Так, максимальные точность и полнота достигают 94 и 83 % соответственно для типа Одуванчик. В будущем планируются исследования для применения аугментации в качестве преобработки для создания сбалансированной выборки.

Список литературы

1. Detection and classification of pollen grain microscope images / S. Battiato, A. Ortis, F. Trenta et al. // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2020. P. 980–981. DOI: 10.1109/CVPRW50498.2020.00498

2. Шелехова Т.С., Слуковский З.И., Лаврова Н.Б. Методы исследования донных отложений озер Карелии: моногр. / Институт геологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2020. 112 с.
3. Чекрыга Г.П., Нициевская К.Н., Юдина О.Б. Определение ботанического происхождения меда и бонитета медоносной растительности методом пыльцевого анализа // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2021. № 1 (379). С. 94–97.
4. ГОСТ 31769–2012. Мед. Метод определения частоты встречаемости пыльцевых зерен // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100244>.
5. Automatic pollen recognition with the Rapid-Eparticle counter: the first-level procedure, experience and next steps / Ingrida Šaulien, Laura Šukien, Gintautas Daunys et al. // Atmos. Meas. Tech. 2019. 12. P. 3435–3452. DOI: 10.5194/amt-2018-432
6. Logistic Model Tree and Expectation-Maximization for Pollen Recognition and Grouping / Endrick Barnacin, Jean-Luc Henry, Jack Molinié et al. // World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Information Engineering. 2020. Vol. 14, no. 2. P. 46–49. DOI: 10.5281/zenodo.3669283
7. JERI 2019. The National Study Day on Research on Computer Sciences. 3rd edition of the National Study Day on Research on Computer Sciences (JERI 2019). Saida, Algeria, April 27. 2019. P. 31–41.
8. Ororbia A.G., Mali, A. Biologically Motivated Algorithms for Propagating Local Target Representations // Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2019. 33(01). P. 4651–4658. DOI: 10.1609/aaai.v33i01.33014651
9. Reducing and Stretching Deep Convolutional Activation Features for Accurate Image Classification / Guoqiang Zhong, Shoujun Yan, Kaizhu Huang et al. // Cognitive Computation. 2018. Vol. 10. P. 179–186. DOI: 10.1007/s12559-017-9515-z
10. Sevillano V., Aznarte J.L. Improving classification of pollen grain images of the POLEN23E dataset through three different applications of deep learning convolutional neural networks // PLoS ONE. 2018. Vol. 13 (9), e0201807. DOI: 10.1371/journal.pone.0201807
11. POLLEN73S: An image dataset for pollen grains classification / Gilberto Astolfi, Ariadne Barbosa Gonçalves, Geazy Vilharva Menezes et al. // Ecological Informatics. 2020. Vol. 60. P. 1574–9541. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2020.101165
12. Pollen 73S. URL: <https://figshare.com/articles/dataset/POLLEN73S/12536573> (дата обращения: 12.05.2021).
13. Pollen Grain Recognition Using Convolutional Neural Network / N. Khanzhina, E. Putin, A. Filchenkov, E. Zamyatina // ESANN 2018 proceedings, European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning. Bruges (Belgium), 25–27 April 2018, i6doc.com publ., ISBN 978-287587047-6. P. 409–414.
14. Pollen classification challenge. URL: <https://iplab.dmi.unict.it/pollenclassificationchallenge/> (дата обращения: 23.05.2021).
15. Pollen Grain Classification Challenge 2020 (Challenge Report) / Sebastiano Battiato, Francesco Guarnera, Alessandro Ortis et al. // Springer Nature Switzerland AG 2021. A. Del Bimbo et al. (Eds.): ICPR 2020 Workshops, LNCS 12668. 2021. P. 469–479. DOI: 10.1007/978-3-030-68793-9_34
16. Pollen classification challenge. URL: <https://iplab.dmi.unict.it/pollenclassificationchallenge/> (дата обращения: 23.05.2021).
17. Pollen13k: a large scale microscope pollen grain image dataset / S. Battiato, A. Ortis, F. Trenta et al. // 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). 2020. P. 2456–2460. DOI: 10.1109/ICIP40778.2020.9190776
18. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition // Proceedings of ICLR-2015. 2015. P. 1–14. DOI: 10.48550/arXiv.1409.1556
19. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting / N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky et al. // JMLR. 2014. 15(56). P. 1929–1958.
20. Dementyev V.E., Andriyanov N.A., Vasilyev K.K. Use of Images Augmentation and Implementation of Doubly Stochastic Models for Improving Accuracy of Recognition Algorithms Based on Convolutional Neural Networks // 2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO). 2020. P. 1–4. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166000

References

1. Battiato S., Ortis A., Trenta F., Ascari L., Politi M., Siniscalco C. Detection and classification of pollen grain microscope images. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. 2020. P. 980–981. DOI: 10.1109/CVPRW50498.2020.00498
2. Shelekhova T.S., Slukovskiy Z.I., Lavrova N.B. *Metody issledovaniya donnykh otlozheniy ozer Karelii: monogr.* [Methods for studying bottom sediments of lakes in Karelia: monograph. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2020. 112 p. (In Russ.)
3. Chekryga G.P., Nitsievskaya K.N., Yudina O.B. [Determination of the botanical origin of honey and the quality of honey plants by pollen analysis]. *News of higher educational institutions. Food technology*. 2021;1(379):94–97. (In Russ.)
4. GOST 31769–2012. [Honey. Method for determining the frequency of occurrence of pollen grains]. *Electronic fund of legal and normative-technical documentation*. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200100244>
5. Ingrida Šaulien, Laura Šukien, Gintautas Daunys, Gediminas Valiulis, Lukas Vaitkevičius, Predrag Matavulj et al. Automatic pollen recognition with the Rapid-Eparticle counter: the first-level procedure, experience and next steps. *Atmos. Meas. Tech*. 2019;12:3435–3452. DOI: 10.5194/amt-2018-432
6. Endrick Barnacin, Jean-Luc Henry, Jack Molinié, Jimmy Nagau, Hélène Delatte, Gérard Lebreton. Logistic Model Tree and Expectation-Maximization for Pollen Recognition and Grouping. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer and Information Engineering*. 2020;14(2):46–49. DOI: 10.5281/zenodo.3669283
7. JERI 2019. The National Study Day on Research on Computer Sciences. 3rd edition of the National Study Day on Research on Computer Sciences (JERI 2019). Saida, Algeria, April 27, 2019. P. 31–41.
8. Ororbia A.G., Mali, A. Biologically Motivated Algorithms for Propagating Local Target Representations. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2019;33(01):4651–4658. DOI: 10.1609/aaai.v33i01.33014651
9. Guoqiang Zhong, Shoujun Yan, Kaizhu Huang, Yajuan Cai, Junyu Dong. Reducing and Stretching Deep Convolutional Activation Features for Accurate Image Classification. *Cognitive Computation*. 2018;10:179–186. DOI: 10.1007/s12559-017-9515-z
10. Sevillano V., Aznarte J.L. Improving classification of pollen grain images of the POLEN23E dataset through three different applications of deep learning convolutional neural networks. *PLoS ONE*. 2018;13(9):e0201807. DOI: 10.1371/journal.pone.0201807
11. Astolfi Gilberto; Gonçalves, Ariadne Barbosa; Menezes, Geazy Vilharva et al. POLLEN73S: An image dataset for pollen grains classification. *Ecological Informatics*. 2020;60:1574–9541. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2020.101165
12. *Pollen 73S*. Available at: <https://figshare.com/articles/dataset/POLLEN73S/12536573> (accessed 05.12.2021).
13. Khanzhina N., Putin E., Filchenkov A., Zamyatina E. Pollen Grain Recognition Using Convolutional Neural Network. In: *ESANN 2018 proceedings, European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning*. Bruges (Belgium), 25–27 April 2018, i6doc.com publ., ISBN 978-287587047-6. P. 409–414.
14. *Pollen classification challenge*. Available at: <https://iplab.dmi.unict.it/pollenclassificationchallenge/> (accessed 23.05.2021).
15. Sebastiano Battiato, Francesco Guarnera, Alessandro Ortis, Francesca Trenta, Lorenzo Ascari, Consolata Siniscalco et al. Pollen Grain Classification Challenge 2020 (Challenge Report). Springer Nature Switzerland AG 2021. A. Del Bimbo et al. (Eds.): ICPR 2020 Workshops, LNCS 12668. 2021. P. 469–479. DOI: 10.1007/978-3-030-68793-9_34
16. *Pollen classification challenge*. Available at: <https://iplab.dmi.unict.it/pollenclassificationchallenge/> (accessed 23.05.2021).
17. Battiato S., Ortis A., Trenta F., Ascari L., Politi M., Siniscalco C. Pollen13k: a large scale microscope pollen grain image dataset. In: *2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. 2020. P. 2456–2460. DOI: 10.1109/ICIP40778.2020.9190776
18. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. In: *Proceedings of ICLR-2015*. 2015. P. 1–14. DOI: 10.48550/arXiv.1409.1556

19. Srivastava N., Hinton G., Krizhevsky A., Sutskever I., Salakhutdinov R. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting. *JMLR*. 2014;15(56):1929–1958.

20. Dementyiev V.E., Andriyanov N.A., Vasilyev K.K. Use of Images Augmentation and Implementation of Doubly Stochastic Models for Improving Accuracy of Recognition Algorithms Based on Convolutional Neural Networks. In: *2020 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*. 2020. P. 1–4. DOI: 10.1109/SYNCHROINFO49631.2020.9166000

Информация об авторах

Камалова Юлия Борисовна, старший преподаватель Департамента анализа данных и машинного обучения факультета информационных технологий и анализа больших данных, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; YBKamalova@fa.ru.

Андрьянов Никита Андреевич, канд. техн. наук, доцент Департамента анализа данных и машинного обучения факультета информационных технологий и анализа больших данных, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Россия; naandriyanov@fa.ru.

Information about the authors

Yuliya B. Kamalova, Senior Lecturer of the Department of Data Analysis and Machine Learning of the Faculty of Information Technology and Big Data Analysis, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; YBKamalova@fa.ru.

Nikita A. Andriyanov, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Data Analysis and Machine Learning of the Faculty of Information Technology and Big Data Analysis, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia; naandriyanov@fa.ru.

Статья поступила в редакцию 30.05.2022

The article was submitted 30.05.2022

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОЛОКА НА ОСНОВЕ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Л.В. Легашев¹, silentgir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6351-404X>
И.П. Болодурина^{1, 2}, prmat@mail.osu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0096-2587>
Л.С. Гришина¹, grishina_ls@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2752-7198>
И.А. Лашнева³, lashnevaira@gmail.com
А.А. Сермягин³, alex_sermyagin85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

¹ Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

² Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук, Оренбург, Россия

³ Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ
имени академика Л.К. Эрнста, Москва, Россия

Аннотация. Спектроскопия среднего инфракрасного диапазона с преобразованием Фурье представляет собой быстрый и дешевый способ анализа проб коровьего молока для определения содержания жира, белка, лактозы и других количественных и качественных показателей молока. Современные инструменты анализа данных позволяют выявить наиболее значимые зависимости между различными парами количественных и качественных признаков состава молока. **Цель исследования.** Выполнить прогнозирование ряда ключевых признаков состава молока коров с использованием данных инфракрасной спектроскопии для изучения точности разработанной математической модели. **Методы.** Работу проводили в зимний период 2022 года на базе экспериментального стада голштинизированного черно-пестрого скота (Краснодарский край). Анализ компонентов молока осуществляли с использованием автоматического анализатора MilkoScan (FOSS) с применением метода инфракрасной спектроскопии путем выгрузки полученных спектров при анализе состава сырого молока. Исследованы 23 показателя количественного состава молока: массовая доля жира, белка (истинного и общего), лактозы, СОМО (сухого обезжиренного молочного остатка), сухого вещества, казеина, следы ацетона и бета-гидроксibuтирата, мочевины, точка замерзания, кислотность молока, миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, олеиновая жирные кислоты (ЖК), длинноцепочечные ЖК, среднецепочечные ЖК, короткоцепочечные ЖК, мононенасыщенные и полиненасыщенные ЖК, насыщенные ЖК, трансизомеры жирных кислот. Рассмотрены методы на основе линейной регрессии (Linear Regression), подходы к регуляризации модели линейной регрессии (Ridge, Lasso и ElasticNet), а также полиномиальная регрессия, метод частичной регрессии (PLSRRegression) и метод Байесовской регрессии для задачи прогнозирования ключевых признаков состава молока. Реализован метод снижения размерности данных инфракрасной спектроскопии на основе алгоритма случайного перебора считывания по длине окна и выделены наиболее значимые признаки. **Результаты.** Разработаны модели прогнозирования шести основных показателей качества молока – массовая доля жира ('Fat'), массовая доля казеина ('Cas.B'), жирных кислот – миристиновой ('C14:0') и олеиновой ('C18:1'), мононенасыщенных ('MUFA') и полиненасыщенные жирных кислот ('PUFA') – со средней абсолютной ошибкой, не превышающей 0,016. **Заключение.** Результаты, полученные в ходе проведенного исследования, позволят в дальнейшем улучшить предиктивную способность уравнения для определения качества, состава молока по новым селекционным признакам молочной продуктивности, снизить издержки анализа и проводить контроль за состоянием здоровья животных на ранних стадиях.

Ключевые слова: прогнозирование, показатели состава молока, инфракрасная спектроскопия, машинное обучение, регрессия

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-76-20046) в части исследования расширенного компонентного состава молока коров.

Для цитирования: Прогнозирование количественных характеристик молока на основе инфракрасной спектроскопии с применением методов машинного обучения / Л.В. Легашев, И.П. Болодурина, Л.С. Гришина и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 47–56. DOI: 10.14529/ctcr220305

PREDICTION OF MILK QUANTITATIVE TRAITS BASED ON INFRARED SPECTROSCOPY USING MACHINE-LEARNING METHODS

L.V. Legashev¹, silentgir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6351-404X>
I.P. Bolodurina^{1,2}, prmat@mail.osu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0096-2587>
L.S. Grishina¹, grishina_ls@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2752-7198>
I.A. Lashneva³, lashnevaira@gmail.com
A.A. Sermyagin³, alex_sermyagin85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

¹ Orenburg State University, Orenburg, Russia

² Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

³ Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Moscow, Russia

Abstract. Fourier transform mid-infrared spectroscopy is a fast and cheap way to analyze cow's milk samples to determine fat, protein, lactose and other quantitative and qualitative indicators of milk quality. Modern tools for data analysis will reveal the relationship between different pairs of quantitative and qualitative characteristics of milk. **Purpose of the study.** Perform predictions on some key milk quality traits based on infrared spectroscopy data to study the accuracy of the developed mathematical model. **Methods.** The work was carried out in the winter period of 2022 on the basis of an experimental herd of Holsteinized black-and-white cattle (Krasnodar Territory). The analysis of milk traits was carried out with an automatic analyzer MilkoScan (FOSS) using the method of infrared spectroscopy by unloading the obtained spectra when analyzing the composition of raw milk. 23 indicators of the quantitative milk traits were studied: mass fraction of fat, protein (true and total), lactose, DSMR (dry skimmed milk residue), dry matter, casein, traces of acetone and beta-hydroxybutyrate, urea, freezing point, acidity of milk, myristic, palmitic, stearic, oleic fatty acids (FA), long-chain fatty acids, medium-chain fatty acids, short-chain fatty acids, monounsaturated and polyunsaturated fatty acids, saturated fatty acids, trans fatty acids. Methods based on linear regression, approaches to the regularization of the linear regression model (Ridge, Lasso and ElasticNet), as well as polynomial regression, the partial regression method (PLSRegression) and the Bayesian regression method for the problem of predicting key features of milk traits were considered. A method for reducing the dimensionality of infrared spectroscopy data is implemented based on the algorithm of random search of readings along the length of the window, and the most significant features are identified. **Results.** Models have been developed for predicting six main indicators of milk quality – mass fraction of fat ('Fat'), mass fraction of casein ('Cas.B'), fatty acids – myristic ('C14:0') and oleic ('C18: 1'), monounsaturated ('MUFA') and polyunsaturated fatty acids ('PUFA') – with an average absolute error not exceeding 0,016. **Conclusion.** The results obtained in the course of the study will further improve the predictive ability of the equation for determining the quality and composition of milk according to new breeding traits of milk productivity, reduce analysis costs and monitor the health of animals at an early stage.

Keywords: prediction, milk quality traits, infrared spectroscopy, machine learning, regression

Acknowledgments: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project no. 21-76-20046) in terms of studying the expanded component composition of cows' milk.

For citation: Legashev L.V., Bolodurina I.P., Grishina L.S., Lashneva I.A., Sermyagin A.A. Prediction of milk quantitative traits based on infrared spectroscopy using machine-learning methods. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):47–56. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220305

Введение

В настоящее время модели искусственного интеллекта находят свое применение в области безопасности, медицины, образования, сельского хозяйства и других. Современные методы интеллектуального анализа данных активно используются для прогнозирования урожайности на полях, мониторинга состояния скота на фермах и т. д. Одно из достоинств методов машинного обучения в сельскохозяйственных процессах состоит в своевременной оценке качества изготавливаемой продукции. Например, автоматические анализаторы инфракрасной спектроскопии [1] активно применяются для анализа количественного состава молока по его компонентам [2, 3]. Более детальное исследование данного процесса позволит вести мониторинг здоровья животных, выявлять воспалительные процессы и контролировать качество производимого сырого молока и вырабатываемой из него молочной продукции.

В этой связи актуальной является задача прогнозирования ключевых показателей состава молока современными методами машинного обучения. Результаты обучения моделей на данных инфракрасной спектроскопии позволят описать формальную математическую зависимость между спектрограммой молока и заданным критерием качества в форме функциональной зависимости. Результаты проведенного исследования позволят в дальнейшем улучшить селекционный контроль качества молока и молочной продукции, снизить издержки анализа и прогнозировать различные потенциальные функциональные нарушения на ранних стадиях, а также в перспективе проводить анализ технологических свойств молока индивидуально для каждого животного (сыропригодность и др.).

1. Обзор исследований

Данные, полученные с помощью инфракрасной спектроскопии молока, используют для различных задач прогнозирования. В частности, в работе [4] представлен обзор использования спектроскопии в качестве инструмента фенотипирования признаков молока, например, для прогнозирования основного минерального состава, как это изложено в [5]. В работе [6] проводят исследование по прогнозированию статуса беременности коров на основе методов глубокого обучения. В исследовании [7] определяют статус туберкулеза у крупного рогатого скота на основе методов глубокого обучения. В статьях [8, 9] прогнозируют качественные характеристики молока с использованием статистических методов машинного обучения. В работе [10] на базе устройств интернета вещей исследуют фальсификацию молочной продукции с использованием машинного обучения. Аналогичные исследования фальсификации кокосового молока проводят в работе [11]. В статье [12] используется ансамблевый классификатор Stacking и многослойная нейронная сеть с прямой связью для ежедневного прогнозирования метаболического профиля крови у молочного скота. Авторы исследования [13] сравнивают метод частичной регрессии (PLSR), методы с частными коэффициентами наименьших квадратов (PLS) в сочетании с линейной и полиномиальной регрессией опорных векторов (PLS + SVR), а также метод с использованием PLS и искусственной нейронной сети с одним скрытым слоем для прогнозирования содержания лактоферрина в коровьем молоке. В работе [14] использовался метод главных компонент для снижения размерности входных данных и многослойный перцептрон с двумя скрытыми слоями с целью прогнозирования параметров качества коровьего молока по спектральным данным. Метод частичной регрессии PLSR использовался в исследовании [15] для прогнозирования потребления сухого вещества корма (конверсии) на основе данных инфракрасной спектроскопии молока.

Таким образом, обзор проведенных исследований показал, что методы машинного обучения активно применяются для решения широкого спектра практических задач на основе данных спектрального анализа молока. В то же время разработка регрессионных уравнений моделей для прогнозирования функционального состояния животных по спектрам сырого молока позволит открыть новые возможности управления и улучшения биологических качеств молочного скота на примере российской популяции черно-пестрой и голштинской породы.

2. Постановка задачи прогнозирования показателей при спектроскопии молока

Задача построения модели прогнозирования основных показателей качества молока может быть отнесена к задаче множественной регрессии (обучение с учителем), которая позволяет вос-

становить зависимость между показателями качества Y и фиксируемыми признаками инфракрасной спектроскопии по волновым точкам $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$. Цель регрессионного анализа состоит в том, чтобы оценить значение непрерывной выходной переменной Y по значениям входных переменных X .

Формальная **математическая постановка задачи регрессии** имеет следующий вид.

Пусть дано X – множество признаков описания объектов ($X \in \mathbb{R}^n$), Y – множество ответов ($Y \in \mathbb{R}^m$). Задача состоит в построении на основе $X^l = (x_i, y_i)_{i=1}^l$ – обучающей выборки неизвестной зависимости $a: X \rightarrow Y$, для которой справедливо $y_i = a(x_i), i = 1, \dots, l$.

Исходные данные. Был проанализирован 521 образец молока от 196 коров, собранный в период регистрации (учета) молочной продуктивности коров в январе 2022 года на базе экспериментального хозяйства Краснодарского края. Количество волновых точек в средней инфракрасной области спектроскопии с различной степенью поглощения вещества составило $n = 1060$. Данные разбиты на две выборки: в первой содержались только результаты спектроскопии (столбцы с 240-го по 1299-й), во второй – количественные показатели молока, включая суточный удой коровы.

По изученным количественным показателям молока построена матрица корреляции (рис. 1). Первые 15 записей пар признаков с наибольшей положительной/отрицательной корреляцией представлены в табл. 1.

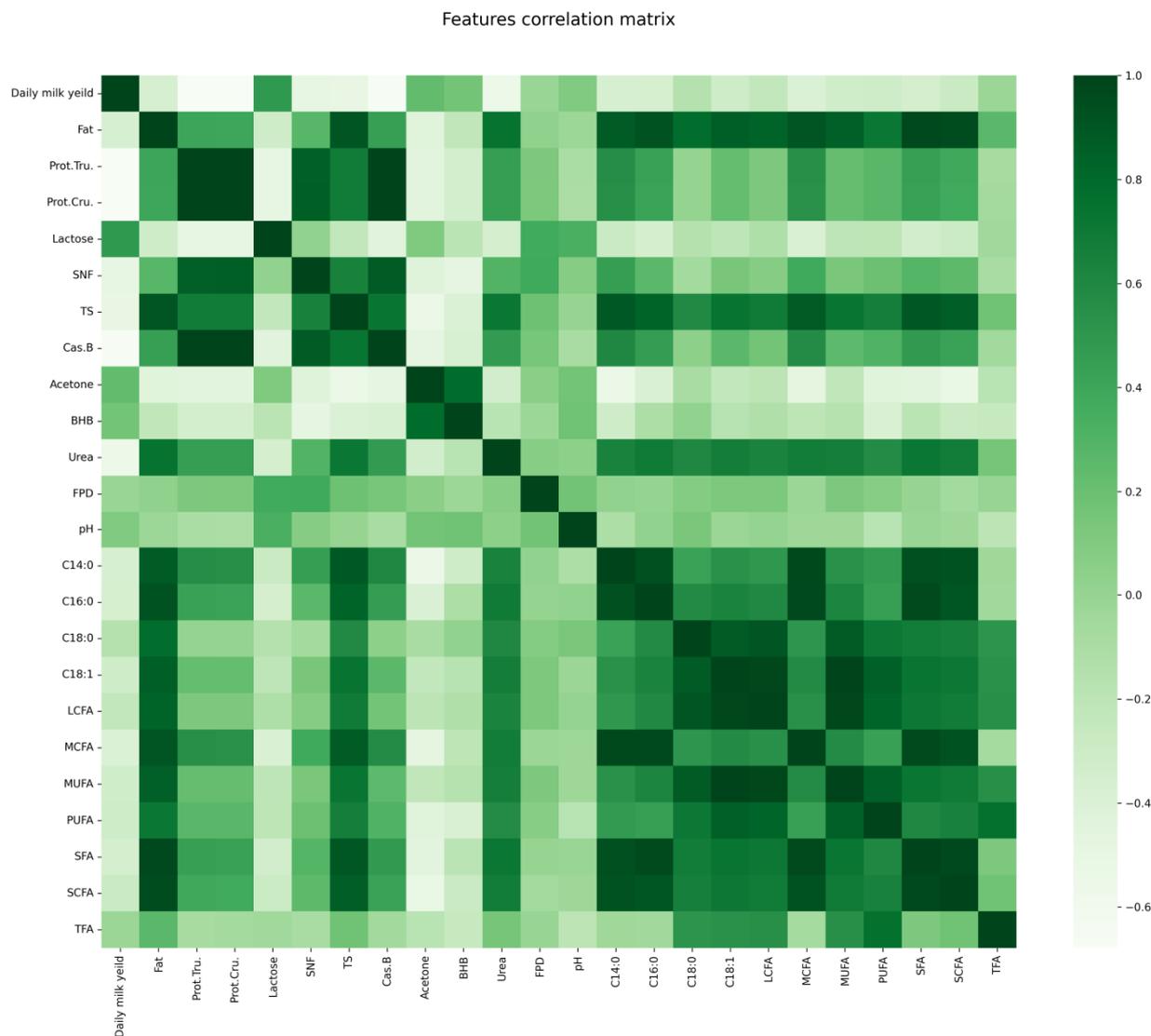


Рис. 1. Матрица корреляции признаков качественных и количественных показателей молока
Fig. 1. Correlation matrix of qualitative and quantitative milk quality traits features

Первые 15 записей пар признаков с наибольшей положительной/отрицательной
корреляцией

Таблица 1

Table 1

The first 15 records of feature pairs with the highest positive/negative correlation

Первый признак	Второй признак	Корреляция	Первый признак	Второй признак	Корреляция
Prot.Tru.	Prot.Cru.	0,999	Daily milk yeild	Prot.Cru.	-0,679
C18:1	MUFA	0,997	Daily milk yeild	Prot.Tru.	-0,676
Prot.Tru.	Cas.B	0,995	Daily milk yeild	Cas.B	-0,665
Prot.Cru.	Cas.B	0,995	Daily milk yeild	Urea	-0,551
C18:1	LCFA	0,987	TS	Acetone	-0,537
LCFA	MUFA	0,984	Acetone	C14:0	-0,534
C16:0	MCFA	0,980	Acetone	SCFA	-0,511
Fat	SFA	0,979	Daily milk yeild	TS	-0,496
SFA	SCFA	0,975	Prot.Tru.	Lactose	-0,494
C14:0	MCFA	0,973	Prot.Cru.	Lactose	-0,489
MCFA	SFA	0,967	Daily milk yeild	SNF	-0,482
C16:0	SFA	0,966	Cas.B	Acetone	-0,482
Fat	SCFA	0,956	SNF	BHB	-0,481
C14:0	SFA	0,939	Acetone	MCFA	-0,463
C14:0	C16:0	0,936	Prot.Tru.	Acetone	-0,453

Корреляционный анализ позволяет сделать выводы о том, что множество показателей тесно связаны друг с другом и, например, высокая точность при прогнозировании признака по жирным кислотам – 'C14:0' (миристиновая ЖК) гарантирует аналогичный порядок точности признака для насыщенных жирных кислот 'SFA' (корреляция 0,9394). В связи с этим в рамках данного исследования выделены ключевые показатели качества молока $\bar{Y} \subset Y = \{ \text{'Fat'}, \text{'Cas. B'}, \text{'C14: 0'}, \text{'C18: 1'}, \text{'MUFA'}, \text{'PUFA'} \}$, характеризующие массовую долю жира, процент казеина, жирные кислоты – миристиновая (насыщенная ЖК) и олеиновая (ненасыщенная ЖК), мононенасыщенные и полиненасыщенные жирные кислоты соответственно. Казеин молока коров представляет особый интерес для выработки сыра и творога. Селекционный контроль у животных миристиновой ЖК и ряда насыщенных кислот молока связан с общим выходом жира, обменом веществ и также с потенциальной оценкой продукции метана, выделяемого с производными жизнедеятельности скота. Содержание олеиновой ЖК, а также моно- и полиненасыщенных жирных кислот обуславливает выход масла, связано с технологическими свойствами и органолептическими особенностями молока, продуцируемого животными, а также с их фертильностью (способностью к устойчивому воспроизводству потомства). В этой связи были выбраны именно эти показатели, как отвечающие и имеющие наибольший интерес в среде селекционеров для возможностей прогнозирования качественных характеристик животных.

Наиболее тесные корреляционные взаимосвязи ($r > 0,9$) отмечались для признаков со схожей природой синтеза (образования) в молочной железе коровы: белков молока (истинного и общего белка с казеином, а также между собой) и жирных кислот с учетом длины углеродной цепи и степени насыщения. В то же время взаимосвязь между суточным удоем как основной производной жизнедеятельности и использования коров и компонентами молока – белком, жиром, некоторыми жирными кислотами, следами метаболитов характеризовалась отрицательными значениями ($-0,453 < r < -0,679$) (см. табл. 1).

На рис. 2 представлены графики рассеяния и графики распределения зависимости между признаками жира 'Fat' (верхний ряд) и белка 'Prot.Cru.' (нижний ряд) и группы признаков из ацетона 'Acetone', мочевины 'Urea' и бета-гидроксibuтирата 'BHB'. С увеличением жирности молока наблюдалось повышение концентрации мочевины в нем, тогда как следы ацетона и БГБ имели плавную отрицательную динамику. Подобная закономерность отмечена для массовой доли общего белка по мочеvine и следам метаболитов в молоке коров.

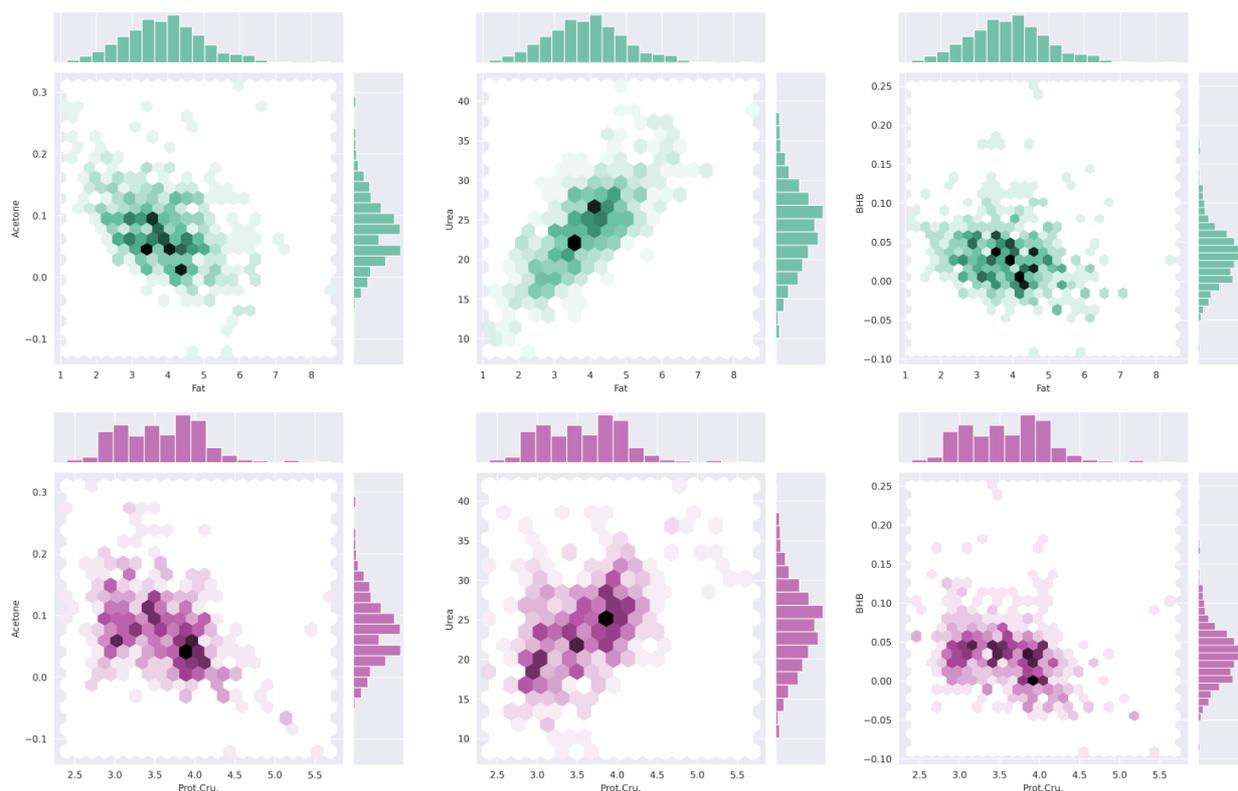


Рис. 2. Графики рассеяния и распределения между признаками жира и белка и группы признаков из ацетона, мочевины и бета-гидроксибутирата
Fig. 2. Jointplots for the features of fat and protein, and feature sets of acetone, urea and beta-hydroxybutyrate

Описательная статистика для шести прогнозируемых признаков 'Fat', 'Cas.B', 'C14:0', 'C18:1', 'MUFA' and 'PUFA' представлена на рис. 3.

	Fat	Cas.B	C14:0	C18:1	MUFA	PUFA
count	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000	521.000000
mean	3.906507	2.915528	0.412555	1.049572	1.009850	0.116973
std	1.101313	0.465043	0.110201	0.307287	0.287715	0.029744
min	1.180000	1.810000	0.162000	0.398000	0.428000	0.049000
25%	3.160000	2.520000	0.329000	0.852000	0.827000	0.096000
50%	3.880000	2.920000	0.414000	1.006000	0.974000	0.115000
75%	4.580000	3.250000	0.482000	1.195000	1.146000	0.132000
max	8.530000	4.650000	0.898000	2.786000	2.676000	0.261000

Рис. 3. Описательная статистика по шести прогнозируемым признакам
Fig. 3. Descriptive statistics on six predictive traits

Оценивать качество регрессии можно различными способами. Наиболее типичными мерами качества в задачах регрессии являются:

1) средняя абсолютная ошибка (англ. Mean Absolute Error, MAE):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|; \quad (1)$$

2) корень из средней квадратичной ошибки (англ. Root Mean Squared Error, RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}; \quad (2)$$

3) коэффициент детерминации R^2 :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Коэффициент детерминации измеряет долю дисперсии, объясненную моделью, в общей дисперсии целевой переменной. Фактически данная мера качества – это нормированная среднеквадратичная ошибка. Среднеквадратичный функционал сильнее штрафует за большие отклонения по сравнению со среднеабсолютным и поэтому более чувствителен к выбросам.

3. Прогнозирование показателей молока современными методами машинного обучения

Исходные данные разбиты на обучающую и тестовую выборки в соотношении 4 : 1. Выполнена линейная регрессия методом наименьших квадратов с помощью LinearRegression библиотеки *sklearn*. Результаты регрессии оценивались метриками (1)–(3): среднеквадратичная ошибка модели (Root Mean Square Error, RMSE) и средняя абсолютная ошибка модели (Mean Absolute Error, MAE), а также коэффициент детерминации R^2 . Результаты прогнозирования представлены в табл. 2.

Таблица 2
Метрики модели машинного обучения для шести прогнозируемых признаков
Table 2
Machine learning model metrics for six predictive features

Прогнозируемый признак	Область определения	RMSE	MAE	R^2
Fat	[1,18; 8,53]	0,0799	0,0645	0,9946
Cas.B	[1,81; 4,65]	0,1164	0,0925	0,9372
C14:0	[0,16; 0,90]	0,0154	0,0124	0,9787
C18:1	[0,39; 2,79]	0,0443	0,0357	0,9795
MUFA	[0,42; 2,68]	0,0453	0,0361	0,9758
PUFA	[0,04; 0,27]	0,0121	0,0095	0,8455

Результаты оценки качества прогнозных моделей по различным показателям выявили, что прогнозируемые признаки 'Cas.B' и 'PUFA' имеют наиболее слабую долю дисперсии. При этом остальные показатели близки к единице, т. е. модель хорошо объясняет данные.

На следующем этапе исследования реализован алгоритм снижения размерности данных инфракрасной спектроскопии. Сравнительно небольшое количество исходных данных позволяет нам использовать для этого алгоритм случайного перебора окна. В зависимости от масштаба области определения признаков использованы различные метрики качества для подбора окна волнового спектра. Размер отрезка варьировался в интервале [50; 400], количество итераций составляло 5000, в качестве целевой функции f_{opt} использовалась одна из метрик RMSE или MAE. Результаты работы алгоритма для метода линейной регрессии представлены в табл. 3. На рис. 4 представлен пример линейного графика зависимости спектра поглощения от длины волны, а также близкие к оптимальному окна волнового спектра для всех шести прогнозируемых признаков. Использование оптимального окна спектра для признака 'Cas.B' позволило улучшить долю дисперсии до значения $R^2 = 0,9966$, для признака 'PUFA' позволило улучшить долю дисперсии до значения $R^2 = 0,9686$.

Таблица 3
Результаты работы алгоритма случайного перебора размера окна волнового спектра
для метода линейной регрессии
Table 3
Results of the random search algorithm of finding the wave spectrum window length
for the linear regression method

Прогнозируемый признак	Метрика	f_{opt}	Окно волнового спектра
Fat	RMSE	0,0209	[293; 453]
Cas.B	RMSE	0,0187	[344; 396]
C14:0	MAE	0,0041	[252; 462]
C18:1	MAE	0,0130	[251; 456]
MUFA	MAE	0,0119	[240; 469]
PUFA	MAE	0,0043	[246; 464]

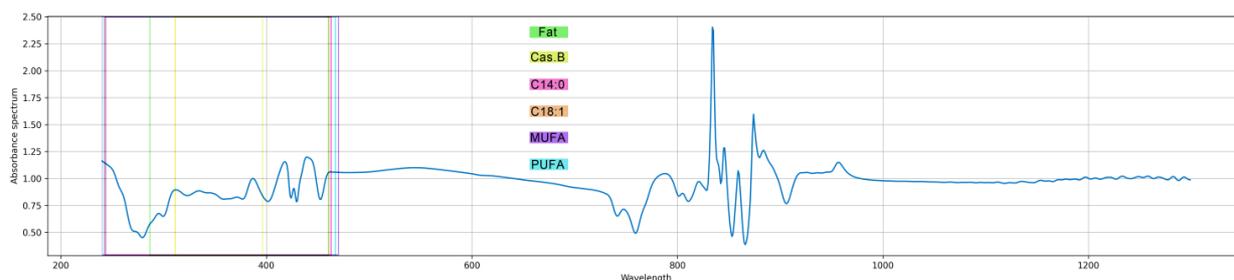


Рис. 4. Линейный график зависимости спектра поглощения от длины волны, близкие к оптимальным окна длины волны при прогнозировании признаков
Fig. 4. Linear plot of absorbance spectrum vs. wavelength, close-to-optimal wavelength windows when predicting features

Кроме того, реализовано сравнение эффективности модели LinearRegression с рядом других моделей машинного обучения. Рассмотрены подходы к регуляризации модели линейной регрессии (Ridge, Lasso и ElasticNet), а также расширение линейной модели базисными функциями (полиномиальная регрессия), методом частичной регрессии (PLSRegression) и наименьших квадратов, методом байесовской регрессии. Результаты прогнозирования представлены в табл. 4.

Ошибки моделей машинного обучения для шести прогнозируемых признаков

Таблица 4

Table 4

Machine learning model errors for six predictive features

	Fat		Cas.B		C14:0	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE
Ridge	0,024186 (alpha=1e-03)	0,019668 (alpha=1e-03)	0,028024 (alpha=1e-03)	0,02276 (alpha=1e-03)	0,007418 (alpha=1e-06)	0,00595 (alpha=1e-06)
Lasso	0,027916 (alpha=1e-05)	0,021313 (alpha=1e-05)	0,02149 (alpha=1e-05)	0,016037 (alpha=1e-05)	0,016608 (alpha=1e-06)	0,013043 (alpha=1e-06)
ElasticNet	0,038695	0,029758	0,027905	0,021019	0,02793	0,02098
Полиномиальная регрессия (degree = 2)	0,031258	0,023921	0,03508	0,027013	0,035539	0,027914
BayesianRidge	0,025172	0,019832	0,027887	0,022553	0,025332	0,019092
PLSRegression (n_components = 2)	0,083546	0,068356	0,161498	0,126435	0,042118	0,033418
	C18:1		MUFA		PUFA	
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE
Ridge	0,018545 (alpha=1e-06)	0,01403 (alpha=1e-06)	0,017819 (alpha=1e-06)	0,01379 (alpha=1e-06)	0,005859 (alpha=1e-06)	0,0045199 (alpha=1e-06)
Lasso	0,047717 (alpha=1e-06)	0,03648 (alpha=1e-06)	0,044095 (alpha=1e-06)	0,033121 (alpha=1e-06)	0,011433 (alpha=1e-06)	0,00941 (alpha=1e-06)
ElasticNet	0,10079	0,07566	0,094107	0,071053	0,0145849	0,0114307
Полиномиальная регрессия (degree = 2)	0,12155	0,09059	0,118251	0,0879466	0,02407	0,019333
BayesianRidge	0,07354	0,057898	0,0747286	0,0574054	0,020836	0,016419
PLSRegression (n_components = 2)	0,13965	0,10865	0,131281	0,1036154	0,0199687	0,015649

Линейная регрессия с регуляризацией Ridge показывает лучшие результаты по большинству прогнозируемых признаков со средней ошибкой MAE = 0,0116, за исключением казеина, где ошибка MAE составила 0,0227. Для показателя 'Cas.B' наиболее высокую точность при прогнозировании продемонстрировал метод линейной регрессии с регуляризацией Lasso (MAE = 0,0160).

В результате проведенных исследований построены шесть моделей линейной регрессии по каждому из основных показателей качества молока, включающих в среднем 200 признаков инфракрасной спектроскопии по волновым точкам на интервале [247; 463] с весовыми коэффициентами, подобранными на основе методов, описанных выше. Данные модели могут быть использованы на практике для оценки качества молока.

Заключение

Таким образом, в рамках данного исследования осуществлено прогнозирование по шести ключевым признакам состава молока на основе данных инфракрасной спектроскопии. Исходные данные о компонентах сырого молока взяты за январь 2022 года в экспериментальном стаде голштинизированного черно-пестрого скота. Анализ молока осуществляли с использованием автоматического анализатора MilkoScan (FOSS, Дания) на основе экспресс-метода инфракрасной спектроскопии. Исследована эффективность подходов по прогнозированию показателей состава молока на основе линейной регрессии (Linear Regression) и подходов к ее регуляризации (Ridge, Lasso и ElasticNet), полиномиальной регрессии, метода частичной регрессии (PLSRRegression), а также метода байесовской регрессии. В качестве ключевых показателей состава молока выступали: массовая доля жира ('Fat'), массовая доля казеина ('Cas.B'), жирные кислоты – насыщенная миристиновая ('C14:0') и ненасыщенная олеиновая ('C18:1'), сумма мононенасыщенных ('MUFA') и сумма полиненасыщенных жирных кислот ('PUFA'). Кроме того, реализован метод снижения размерности данных инфракрасной спектроскопии молока на основе алгоритма случайного перебора длины окна. Построенные прогнозные модели показателей состава молока показали высокую эффективность при экспериментальном исследовании со средней абсолютной ошибкой, не превышающей 0,016.

С точки зрения применимости методов машинного обучения в сельскохозяйственной биологии они представляют собой новое направление научно-практических исследований по совершенствованию и повышению точности оценки фенотипа животных. Получаемые результаты по количественному составу молока коров (белковая и жировая фракции) уже сейчас составляют важный элемент в разведении животных для целей поиска новых селекционных критериев. Накопленный большой массив данных, как мы полагаем, позволит в ближайшее время перейти к оценке качественных биологических характеристик объектов в молочном скотоводстве для улучшения технологических свойств молока как сырья для переработки и повышения способности предсказания (прогнозирования) функционального состояния животных (признаки здоровья, долголетия использования, воспроизводительные качества).

Список литературы/References

1. De Marchi M., Penasa M., Cecchinato A., Mele M., Secchiari P., Bittante G. Effectiveness of mid-infrared spectroscopy to predict fatty acid composition of Brown Swiss bovine milk. *Animal*. 2011;5(10):1653–1658. DOI: 10.1017/S1751731111000747
2. Filipejová T., Kováčik J., Kirchnerová K., Foltýs V. Changes in milk composition as a result of metabolic disorders of dairy cows. *Potravinářstvo*. 2011;5(1):10–16.
3. Zaalberg R.M., Shetty N., Janss L., Buitenhuis A.J. Genetic analysis of Fourier transform infrared milk spectra in Danish Holstein and Danish Jersey. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(1): 503–510. DOI: 10.3168/jds.2018-14464
4. M. De Marchi, V. Toffanin, M. Cassandro, M. Penasa Invited review: mid-infrared spectroscopy as phenotyping tool for milk traits. *Journal of Dairy Science*. 2014;97(3):1171–1186. DOI: 10.3168/jds.2013-6799
5. Visentin G. et al. Phenotypic characterisation of major mineral composition predicted by mid-infrared spectroscopy in cow milk. *Italian Journal of Animal Science*. 2018;17(3):549–556. DOI: 10.1080/1828051X.2017.1398055
6. Brand W. et al. Predicting pregnancy status from mid-infrared spectroscopy in dairy cow milk using deep learning. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(4):4980–4990. DOI: 10.3168/jds.2020-18367
7. Denholm S.J. et al. Predicting bovine tuberculosis status of dairy cows from mid-infrared spectral data of milk using deep learning. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(10):9355–9367. DOI: 10.3168/jds.2020-18328
8. Frizzarin M. et al. Predicting cow milk quality traits from routinely available milk spectra using statistical machine learning methods. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(7):7438–7447. DOI: 10.3168/jds.2020-19576
9. Frizzarin M. et al. Mid infrared spectroscopy and milk quality traits: A data analysis competition at the “International workshop on spectroscopy and chemometrics 2021”. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2021;219:1–9. DOI: 10.1016/j.chemolab.2021.104442

10. Sowmya N., Ponnusamy V. Development of spectroscopic sensor system for an IoT application of adulteration identification on milk using machine learning. *IEEE Access*. 2021;9:53979–53995. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3070558
11. Al-Awadhi M.A., Deshmukh R.R. Detection of Adulteration in Coconut Milk using Infrared Spectroscopy and Machine Learning. In: *2021 International Conference of Modern Trends in Information and Communication Technology Industry (MTICTI)*. IEEE; 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/MTICTI53925.2021.9664764
12. Giannuzzi D. et al. In-line near-infrared analysis of milk coupled with machine learning methods for the daily prediction of blood metabolic profile in dairy cattle. *Scientific Reports*. 2022;12(1):1–13. DOI: 10.1038/s41598-022-11799-0
13. Soyeurt H. et al. A comparison of 4 different machine learning algorithms to predict lactoferrin content in bovine milk from mid-infrared spectra. *Journal of dairy science*. 2020;103(12):11585–11596. DOI: 10.3168/jds.2020-18870
14. Muñoz R., Cuevas-Valdés M., de la Roza-Delgado B. Milk quality control requirement evaluation using a handheld near infrared reflectance spectrophotometer and a bespoke mobile application. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2020;86:1–8. DOI: 10.1016/j.jfca.2019.103388
15. Dórea J. R. R. et al. Mining data from milk infrared spectroscopy to improve feed intake predictions in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(7):5878–5889. DOI: 10.3168/jds.2017-13997

Информация об авторах

Легашев Леонид Вячеславович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории цифровых решений и аналитики больших данных, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия; silentgir@gmail.com.

Болодурина Ирина Павловна, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой прикладной математики, Оренбургский государственный университет; Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия; ipbolodurina@yandex.ru.

Гришина Любовь Сергеевна, преподаватель кафедры прикладной математики, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия; zabrodina97@inbox.ru.

Лашнева Ирина Алексеевна, аспирант, младший научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Москва, Россия; lashnevair@gmail.com.

Сермягин Александр Александрович, канд. с.-х наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом популяционной генетики и генетических основ разведения животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Москва, Россия; alex_sermyagin85@mail.ru.

Information about the authors

Leonid V. Legashev, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Orenburg State University, Orenburg, Russia; silentgir@gmail.com.

Irina P. Bolodurina, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Department, Orenburg State University; Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia; ipbolodurina@yandex.ru.

Lubov S. Grishina, Lecturer, Orenburg State University, Orenburg, Russia; zabrodina97@inbox.ru.

Irina A. Lashneva, Postgraduate Student, Junior Researcher, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Moscow, Russia; lashnevair@gmail.com.

Alexander A. Sermyagin, Cand. Sci. (Agricultural sciences), Leading Researcher, Head of Department, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Moscow, Russia; alex_sermyagin85@mail.ru.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.06.2022

The article was submitted 27.06.2022

Управление в технических системах Control in technical systems

Научная статья
УДК 004.932.2
DOI: 10.14529/ctcr220306

УЛУЧШЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕНЫ КАЛИЙНЫХ ФЛОТОМАШИН ЗА СЧЕТ УЧЕТА АНТИБЛИКОВ ПУЗЫРЕЙ

А.В. Затонский¹, zxeon@narod.ru
С.А. Варламова¹, varlamovasa@mail.ru
К.А. Федосеева², kristya_0103@mail.ru

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения качества распознавания параметров пенного слоя в калийных флотационных машинах. Актуальность проблемы в последнее время подчеркивается необходимостью укрепления продовольственной безопасности России, для чего, в частности, требуются калийные удобрения. Бликовый метод распознавания параметров пенного слоя в калийных флотационных машинах позволяет исключить человеческий фактор из управления процессом, повысить качество продукции и снизить количество отходов. Однако он обладает рядом недостатков – большим разбросом результатов, чувствительностью к организации освещения и т. д. **Цель исследования:** повышение качества распознавания параметров пенного слоя за счет учета не только бликов, но и антибликов пузырьков. **Материалы и методы.** Антиблики распознаются с использованием двухуровневой адаптивной бинаризации изображения. Проведена обработка десятков видеорядов с шламовых, сальвиновых и пневмоэжекторных флотомашин двух калийных предприятий. Исследована возможность линейной аппроксимации не только верхнего, но и нижнего уровня бинаризации. Построены профили бинаризации для совместного распознавания бликов и антибликов. **Результаты.** Показана возможность использования антибликов пузырьков для улучшения их распознавания в среднем на 3,6 %. Наибольший рост качества достигается на пневмоэжекторных флотационных машинах. Оценка среднего отклонения позволяет предположить, что точность сигнализации отклонений из-за уменьшения шума улучшится на 1,4–4,8 %. Характер профилей антибликов показывает, что малое смещение адаптивного уровня бинаризации позволяет дополнительно улучшить распознавание в пределах 0,6–1,5 %. Выявлены характерные особенности метода, например, его превосходство над исходным бликовым методом в смысле меньшей чувствительности к ошибке вычисления уровня бинаризации. Двукратный рост времени распознавания является недостатком метода, но не препятствует его использованию, в том числе с применением многокадровой фильтрации шума. **Заключение.** Проведенное исследование позволяет утверждать, что учет антибликов пузырей при распознавании параметров пен калийных флотомашин позволяет улучшить показатели процесса и может применяться на практике, предпочтительно для пневмоэжекторных машин.

Ключевые слова: калийная промышленность, флотация, управление, сигнализация распознавание, блик, антиблик

Для цитирования: Затонский А.В., Варламова С.А., Федосеева К.А. Улучшение компьютерного распознавания параметров пены калийных флотомашин за счет учета антибликов пузырей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 57–67. DOI: 10.14529/ctcr220306

IMPROVEMENT OF COMPUTER RECOGNITION OF FOAM PARAMETERS IN POTASH FLOTATION MACHINES BY ANTI-GLARES FROM BUBBLES

A.V. Zatonkiy¹, z xenon@narod.ru

S.A. Varlamova¹, varlamovasa@mail.ru

K.A. Fedoseeva², kristya_0103@mail.ru

¹ Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia

² Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Abstract. The article is about a problem of improving the quality of foam layer parameters recognition in potash flotation machines. The urgency of the problem has recently been emphasized by the need to strengthen Russia's food security, for which, in particular, potash fertilizers are required. The glare method of recognizing the parameters of the foam layer in potash flotation machines makes it possible to eliminate the human factor from control, improve product quality and reduce waste. However, it has a number of disadvantages – a large spread of results, sensitivity to the organization of lighting, etc. **The aim:** to improve the quality of foam layer parameters recognition by taking into account not only glare, but also anti-glare from bubbles. **Materials and methods.** Anti-glare is recognized by two-level adaptive binarization of the image. Dozens of video sequences were processed from slurry, silvin and pneumatic ejector flotation machines on two potash enterprises. The possibility of linear approximation of not only the upper one, but also the lower level of binarization is investigated. Binarization profiles for additional recognition of glare and anti-glare are constructed. **Results.** The possibility of using anti-glare bubbles to improve their recognition by an average of 3.6% is shown. The greatest increase in quality is achieved on pneumatic ejector flotation machines. The estimation of the average deviation suggests that the accuracy of alarm deviations due to noise reduction will improve by 1.4–4.8%. The anti-glare profiles character shows that a small shift in the adaptive level of binarization can further improve recognition in the range of 0.6–1.5%. The characteristic features of the method are revealed, for example, its superiority over the original glare method in the sense of a lower sensitivity to the error of calculating the binarization level. The double increase in recognition time is a disadvantage of the method, but it does not prevent one's using, including using of multi-frame noise filtering. **Conclusion.** The conducted research suggests that taking into account the anti-glare bubbles when recognizing the parameters of potassium foam flotation machines can improve the process performance and can be applied in practice, preferably for pneumatic ejector machines.

Keywords: potash industry, flotation, control, alarm, recognition, glare, anti-glare

For citation: Zatonkiy A.V., Varlamova S.A., Fedoseeva K.A. Improvement of computer recognition of foam parameters in potash flotation machines by anti-glare from bubbles. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):57–67. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220306

Введение

Продовольственная безопасность в мире, странах и регионах в настоящее время стала важной проблемой. От ее уровня зависит стабильность и благополучие России и других стран. Продовольственная безопасность занимает важное место в осуществлении национальной безопасности РФ и демографической политики [1]. Особенно остро эта проблема встает в условиях множественных экономических и социальных санкций, наложенных на РФ зарубежными странами и организациями в последнее время. «Продовольственная самодостаточность – это реальное конкурентное преимущество в России, и оно должно работать в интересах наших граждан», – заявил Президент РФ во время совещания по вопросам агропромышленного комплекса 5 апреля 2022 года [2]. В этом смысле все большее значение приобретает производство в РФ калийных удобрений, повышающих урожайность, внешний вид и лежкость сельскохозяйственной продукции [3].

Калийные удобрения производятся в России в основном в Верхнекамском промышленном районе на предприятиях ПАО «Уралкалий» и ООО «Еврохим – Усольский калийный комби-

нат» [4]. В цепочке основных технологических операций (добыча, транспортировка, дробление, растворение и т. д.) наиболее сложными являются стадии флотации. В ПАО «Уралкалий» применяются многостадийная шламовая и сильвиновая флотации, в ООО «Еврохим – Усольский калийный комбинат» они дополнены стадией колонной, или пневмоэжекторной, флотации [5].

Сложность анализа параметров пены калийных флотомашин, включая даже определение уровня [6], является причиной того, что контроль за их работой и управление подачей реагентов производится только вручную технологом (флотатором). При этом множество проблем появляется из-за человеческого фактора. Распознавание параметров пены с использованием компьютерного зрения может эти проблемы исключить. Однако методы, основанные на распознавании границ пузырьков, эффективны применительно к полиметаллическим или угольным флотомашинам [7–10], для низкоконтрастных пен калийных машин применимы с трудом (рис. 1). Замена распознавания края пузырька на распознавание блика, возникающего на его поверхности от естественного или дополнительного точечного источника света, позволяет во много раз упростить и ускорить обработку видео как с калийных машин [11], так и с машин других типов [12]. Бликовый метод не лишен недостатков, однако на его основе можно строить хотя бы системы сигнализации отклонений, исключающие человеческий фактор [13].

Одна из проблем, возникающих при распознавании параметров пен флотационных машин бликовым методом, вызвана неидеальной формой пузырьков. Пенонгон, воздействуя на слой пены, искажает их сферическую форму. К тому же приводит разница в размерах пузырьков. Сила поверхностного натяжения удерживает в более-менее сферической форме маленькие пузырьки, но при их взаимодействии с большими форма последних искажается.

Некруглость пузырьков приводит к тому, что их поверхность, обращенная к почти соосным камере и источнику освещения, перестает быть перпендикулярной к оси съемки. Поэтому блик от источника направляется не в сторону камеры и не виден в кадре. При этом задняя стенка пузырька, более темная по сравнению с окружающей пеной, хорошо видна. Назовем это явление формированием «антиблика» (см. рис. 1).



Рис. 1. Примеры возникновения антибликов в разных пенах при разном освещении
Fig. 1. Examples of anti-glare occurrences in different foams under different lighting conditions

Колебания формы пузырька вызывают также большую погрешность распознавания, или шум. В зависимости от момента съемки пузырек может быть бликующим или антибликующим. Фильтрация предварительно обработанных данных [14] позволяет улучшить распознавание, но при ее использовании априорно отбрасывается информация о «темных пузырьках», антибликах, которая потенциально может улучшить распознавание независимо от фильтрации.

Представляется разумным разработать такой метод обработки кадра, который воспринимал бы в качестве индикатора наличия пузырька как блик, так и антиблик. Потенциально это может повысить качество распознавания параметров пенного слоя. Решение этой проблемы является целью настоящей статьи. Кроме того, как показано в [15], необходимо одновременно исследовать возможности подстройки метода под условия освещения и определить, есть ли необходимость исключать из обработки кадры при каких-то условиях.

1. Обработка кадров

Для распознавания блика пузырька используется адаптивная бинаризация. Все пиксели обесцвеченного кадра яркостью ниже некоторого уровня считаются черными, выше – белыми. В зависимости от освещенности кадра уровень бинаризации желательно выбирать таким, чтобы распознавалось максимальное количество бликов. Однако оптимизация уровня может быть выполнена только полным перебором и занимает продолжительное время. В [16] доказано, что с достаточной точностью уровень бинаризации L может быть аппроксимирован линейной зависимостью

$$L = a \cdot x + b, \quad (1)$$

где x – среднеарифметическая освещенность обрабатываемого участка кадра; a, b – коэффициенты. В [2] предложено для флотомашин разных конструкций искажать значение коэффициента a , полученное в ходе решения задачи оптимизации:

$$L = (a \pm \Delta a) \cdot X + b, \quad (2)$$

где $\Delta a \approx (0,5 \dots 2) \% \cdot a$. Это позволяет уменьшить чувствительность метода к ошибке определения коэффициента a . Для флотационных машин с пеногоном знак Δa положительный, для пневмоэжекторных – отрицательный.

При обработке кадра будем определять не один уровень бинаризации, а два ($L1$ и $L2$, $255 > L1 > L2 > 0$). Все пиксели светлее $L1$ будем считать бликами и обрабатывать ранее разработанными алгоритмами. Все пиксели темнее $L2$ будем считать антибликами, инвертировать (из черного в белое) и обрабатывать, как будто это блики. Значения $L1$ и $L2$ будем определять максимизацией суммы распознанных бликов и антибликов, затем, как в [15], исследуем чувствительность метода к ошибке расчета линейных приближений уровней бинаризации.

2. Исследование улучшения распознавания с учетом антибликов

Описанным методом обработаны результаты 17 опытных съемок камер шламовой, перечистой сильвиновой и пневмоэжекторной калийных флотационных машин, из которых в одном случае был искусственно вызван переходный процесс. В результате получено улучшение распознавания (увеличение суммарного количества бликов и антибликов) примерно на 3,6 %. В табл. 1 приведены данные об улучшении при подборе оптимальных уровней бинаризации (колонка 4) и при «прогоне», то есть при вычислении уровней бинаризации согласно (1).

Таблица 1
Улучшение распознавания на разных видах ФМ и с разным освещением

Table 1

Recognition improvement with different types of flotation machines and different lighting

№ видео	Флотомашина, освещение	Средняя освещенность	Улучшение при подборе	Улучшение при прогоне	Уменьшение отклонения S
15	Сильвиновая, серая пена, без освещения	101,90	1,016	1,028	1,0109
18	Шламовая, освещение	88,21	1,056	1,038	0,9690
19	Шламовая, освещение	112,19	1,023	1,021	0,8510
20	Сильвиновая, красная пена, освещение	107,35	1,004	1,004	0,9848
21	Сильвиновая, серая пена, освещение	96,77	1,016	1,040	1,0583
22	Сильвиновая, красная пена, освещение	62,12	1,045	1,031	0,9981
23	Сильвиновая, серая пена, освещение	53,52	1,044	1,026	0,9595
23	Сильвиновая, серая пена, освещение	69,55	1,066	1,046	–
24	Пневмоэжекторная, без освещения	141,50	1,104	1,122	1,0662

Окончание табл. 1
Table 1 (end)

№ видео	Флотомашина, освещение	Средняя освещенность	Улучшение при подборе	Улучшение при прогоне	Уменьшение отклонения S
24	Пневмоэжекторная, освещение	139,40	1,014	1,060	0,9283
25	Пневмоэжекторная, без освещения	127,19	1,056	1,054	1,0994
25	Пневмоэжекторная, освещение	137,68	1,012	1,025	0,9878
26	Пневмоэжекторная, без освещения	100,89	1,029	1,022	1,1054
26	Пневмоэжекторная, освещение	104,05	1,018	1,018	0,9738
33	Сильвиновая, светлая пена, освещение	118,39	1,001	1,011	–
34	Сильвиновая, светлая пена, освещение	142,56	1,002	1,012	0,9990
35	Сильвиновая, светлая пена, освещение	149,76	1,000	1,018	0,9686
36	Сильвиновая, светлая пена, без освещения	102,81	1,051	1,053	0,9569
37	Сильвиновая, светлая пена, без освещения	115,28	1,119	1,073	0,8426
	Среднее значение		1,036	1,037	0,986

В обоих случаях зависимость улучшения от освещенности кадра незначительная (рис. 2). Следовательно, наиболее значимым фактором являются именно цеховые условия, а не сама освещенность кадра.

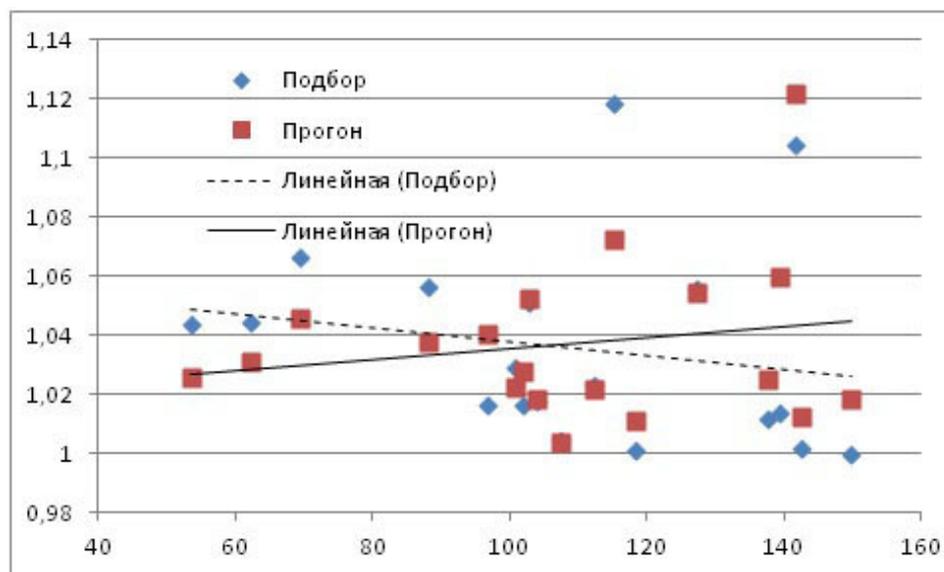


Рис. 2. Зависимость улучшения распознавания от средней освещенности кадра
Fig. 2. The dependence of the recognition improvement on the average illumination of the frame

Время обработки кадра в режиме «прогона» по сравнению с аналогичным без учета антибликов ожидаемо изменилось примерно вдвое безотносительно того, распознаются ли антиблики на изображении (табл. 2).

Изменение времени обработки изображения и улучшения распознавания
для видео № 22 (фрагмент)

Changing the image processing time and recognition improvement
for video No. 22 (fragment)

Время обработки	Бликов и антибликов	Время обработки	Бликов	Рост времени обработки	Улучшение распознавания
0,705	146	0,344	142	2,05	1,03
0,924	176	0,468	158	1,97	1,11
0,693	133	0,356	133	1,95	1,00
0,606	128	0,312	128	1,94	1,00

Наибольшее улучшение ожидаемо получено на самых «темных» пенах – шламовой, пневмоэжекторной и сальвиновой без дополнительного источника освещения. Антиблики в данных случаях формируются источниками рассеянного естественного освещения. Наименьшее улучшение (в пределах 0,4 %) получено на самых «светлых» машинах, сальвиновых со светлой или насыщенно красной пеной при использовании источника освещения. В этом случае антибликов формируется мало, поскольку почти все пузыри пены «бликуют», отражают свет точечного источника. Видеоряды без источника освещения снимались, скорее, с целью показать, что так результат получается хуже, чем с источником, поэтому улучшения на них носят справочный характер. Рост выше среднего значения получен на сальвиновых машинах, работающих в условиях яркого цехового освещения, где точечный источник достаточно мало добавлял к средней освещенности кадра (рис. 3).

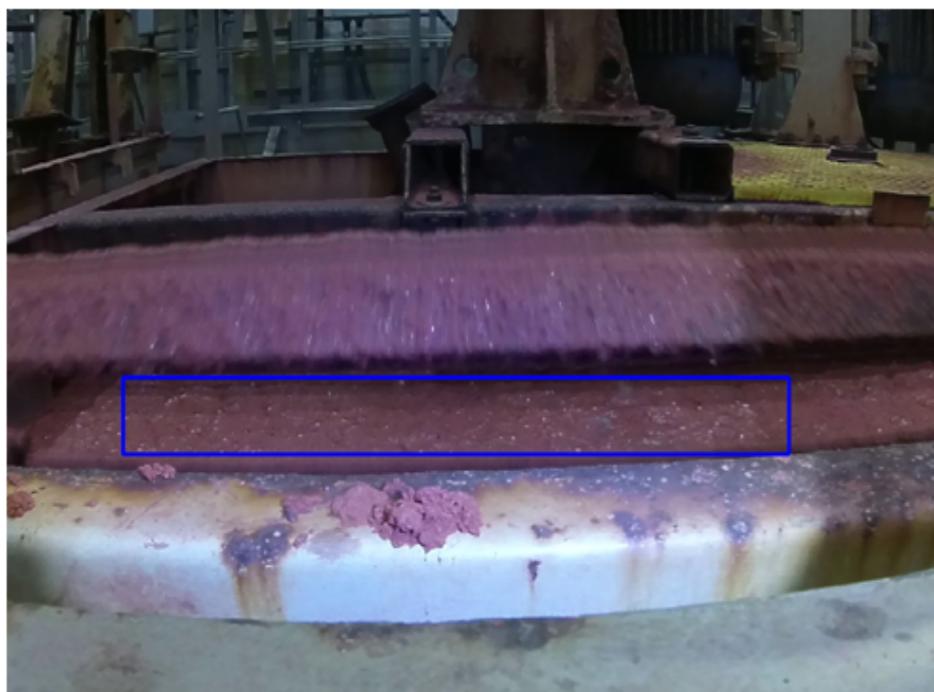


Рис. 3. Условия съемки, приводящие к наибольшему росту распознавания
Fig. 3. Shooting conditions leading to the greatest recognition improvement

Кроме увеличения количества распознаваемых объектов в пене имеет значение также отклонение от среднего значения (или любой близкий по смыслу параметр: дисперсия, среднеквадратичное отклонение и т. п.). В большинстве случаев при съемке пены переходный процесс не создавался, за исключением видео 23 и 33. Следовательно, в идеале значения статистической характеристики Y пены не должны зависеть от номера кадра и не должны изменяться, то есть должны быть все равны собственному среднему значению:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i,$$

где n – количество обработанных кадров; Y_i – значение статистического показателя (в данном случае количества бликов или количества бликов и антибликов) в i -м кадре.

В реальности постоянные изменения в пене приводят к существенному шуму, изменениям статистических характеристик [17]. Например, для видео 25 тренды бликов и суммы бликов и антибликов выглядят следующим образом (рис. 4).

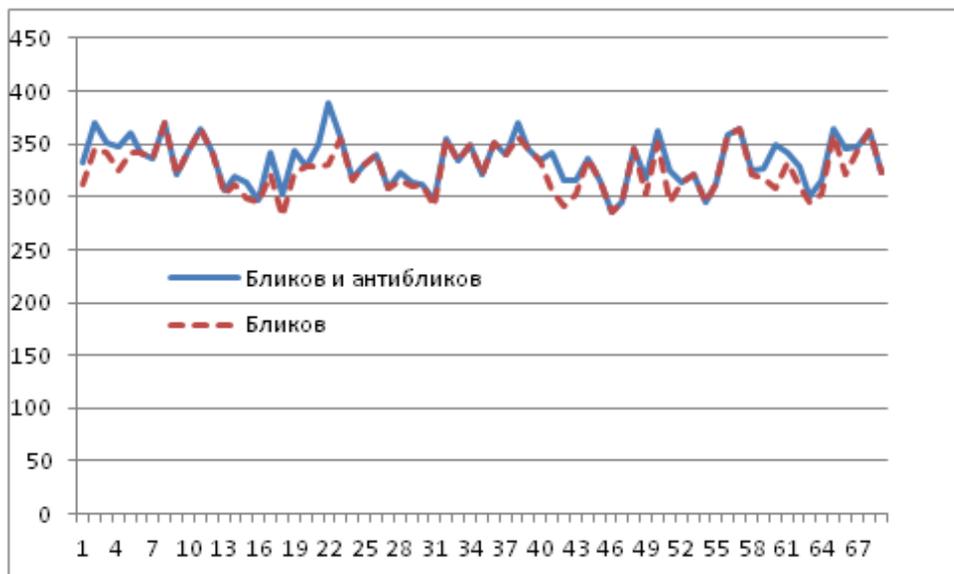


Рис. 4. Тренды распознанных бликов и антибликов в видео 25
Fig. 4. Trends of recognized glares and anti-glares in video 25

Система сигнализации отклонений (или поддержки принятия решений) неизбежно будет сравнивать разбросы значений в разные моменты времени, иначе говоря, динамику изменения среднего отклонения:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{Y}|.$$

Выше в табл. 1 в последней колонке приведено значение S в тех съемках, в которых не создавался переходный процесс. Видно, что в 12 случаях из 17 (70 %) среднее отклонение с учетом антибликов уменьшилось в среднем на 4,8 % (из видео, полученных с дополнительным источником света, – максимально на 15 % у видео 19 с шламовой машины). Среднее улучшение с учетом тех видео, при обработке которых S увеличилось, составило 1,4 %. Следует ожидать, что примерно сообразно этому значению улучшится точность распознавания особых ситуаций в системе сигнализации технологических отклонений.

Проверим, как влияет учет антибликов на применение метода (2). Как и в [15], построим графики зависимости относительного количества распознанных пузырьков от уровня бинаризации блика и сравним эти профили при разной освещенности кадра для пневмоэжекторной машины с дополнительным источником освещения, для которой получено улучшение распознавания около 2 %. Последнее означает, что сравнивать профили, построенные в зависимости от уровня бинаризации антиблика, не имеет смысла в связи с малым приростом количества распознанных объектов. Относительным количеством G_i^* распознанных в i -м кадре пузырьков является величина

$$G_i^* = G_i / \max_i G_i',$$

где G_i – количество бликов и антибликов, распознанных в i -м кадре. На рис. 5 видно, что характер профилей от учета антибликов существенно не изменился.

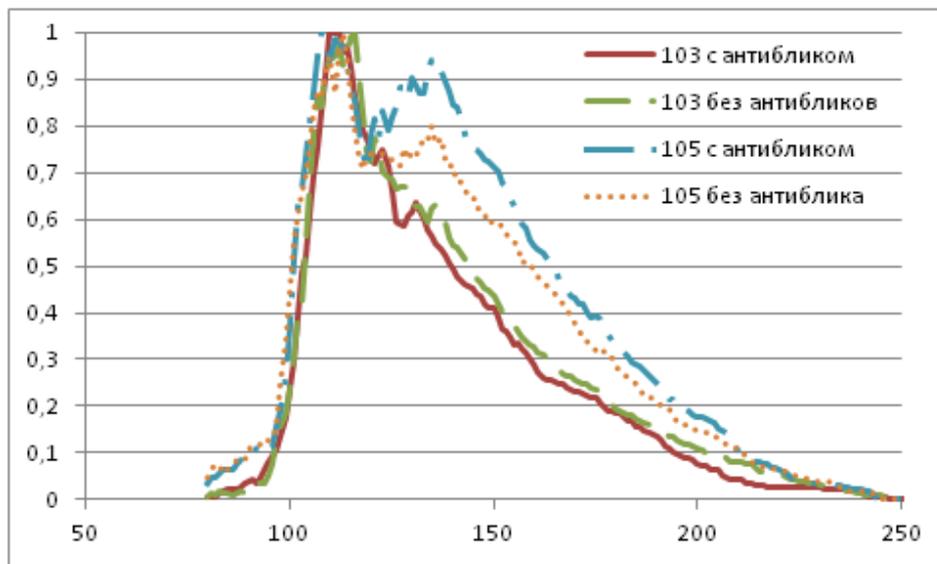


Рис. 5. Профили на колонной перемешивающей флотации
Fig. 5. Profiles on the column flotation

В этом и всех остальных исследованных видео отмечаются три особенности профилей, построенных с учетом антибликов.

1. В большинстве случаев (72 %) максимум профиля смещается в область более высокого уровня бинаризации блика на 3–6 %, во всех этих случаях коэффициент b в (2) положительный.

2. Максимум профиля достигается не в одной точке, а в некоторой области из 2–5 точек, что составляет $\frac{2 \dots 5}{252 \dots 80} \cdot 100 \% = 1 \dots 3 \%$ и более, так как уровни оптимальной бинаризации бликов для всех видов флотомашин с внешним источником света находятся в пределах [113; 162], а пределы [80; 252] исследуются только для исключения возможных ошибок.

3. В окрестности максимума чувствительность к ошибке определения оптимального уровня бинаризации снижается.

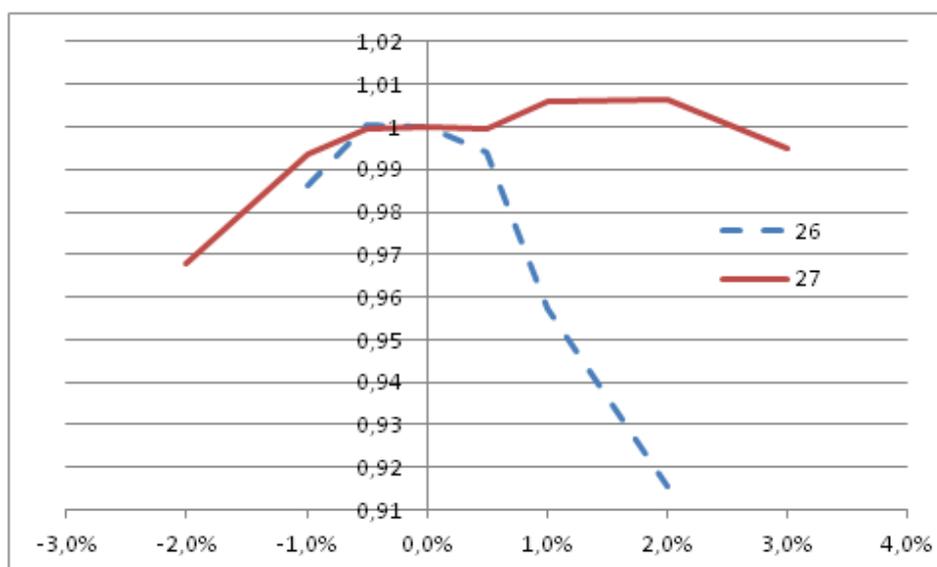


Рис. 6. Зависимость улучшения распознавания от отношения $\Delta a/a$
Fig. 6. The dependence of the recognition improvement on the ratio $\Delta a/a$

Вследствие особенности 2, улучшение распознавания за счет изменения коэффициента a в (2) становится меньше, чем без учета антиблика. На рис. 6 приведены примеры зависимости про-

центного улучшения распознавания от отношения $\Delta a/a$ для видео с точечным источником света. Малое улучшение распознавания достигается при положительном Δa для видео 25 (коэффициент b положительный) и отрицательным для видео 26 (коэффициент b отрицательный), как и во всех остальных 17 обработанных видео.

Основные выводы

В ходе исследования получены следующие практически важные результаты.

1. Учет антибликов улучшает распознавание пузырьков в пене на 1,4–4,8 %.
2. Учет антибликов снижает чувствительность к ошибке вычисления уровня бинаризации (1) при практическом применении, как минимум, на 1–3 %;
3. Учет антибликов не исключает возможности применения методики (2) для дальнейшего снижения количества ошибок, хотя ее эффективность снижается до 0,4–0,6 %. Однако суммарный результат получается лучше, чем без учета антибликов.

Основным недостатком предлагаемого подхода является практически двукратный рост времени обработки кадра. Однако это время все еще остается значительно меньше, чем время оборота пеногона калийной флотомашин (порядка 2,7–3 с). Следовательно, предложенную методику учета антибликов можно рекомендовать даже в случаях, когда с целью дополнительной фильтрации шума последовательно обрабатываются 2–5 кадров.

Список литературы

1. Устойчивое воспроизводство в АПК как важное условие продовольственной безопасности на региональном уровне / Б.А. Воронин, И.П. Чупина, Я.В. Воронина [и др.] // *International Agricultural Journal*. 2022. Т. 65, № 1. DOI: 10.55186/25876740_2022_6_1_14
2. Путин призвал «рачительнее» относиться к экспорту продовольствия. Официальный сайт РБК. URL: [https://www.rbc.ru/politics/05/04/2022/624c3f8c9a794764d26599e9?](https://www.rbc.ru/politics/05/04/2022/624c3f8c9a794764d26599e9?from_pid=1)
3. Хамурзаев С.М., Мадаев А.А. Влияние различных доз минеральных удобрений на лежкость и качество плодов яблони // *Аграрная наука*. 2018. № 11–12. С. 64–65. DOI: 10.32634/0869-8155-2018-320-11-64-65
4. Комплексный подход к вопросу повышения эффективности утилизации избыточных раскислителей на калийных горнодобывающих предприятиях / П.С. Щербань, А.О. Гапич, А.В. Жданов, О.Н. Летуновская // *Известия Уральского государственного горного университета*. 2022. № 1. С. 102–111. DOI: 10.21440/2307-2091-2022-1-102-111
5. Малышева А.В. Стохастическая модель процесса флотации калийной руды // *Молодежная наука в развитии регионов*. 2017. Т. 1. С. 185–188.
6. Беккер В.Ф. Решение технологических проблем действующего производства средствами автоматизации. Т.1: Производство калийных удобрений. Пермь: БФ ПНИПУ, 2012. 312 с.
7. Романенко С.А., Оленников А.С. Опыт внедрения видеокамер FrothMaster на обогатительной фабрике «Зеленая гора-2» // *Обогащение руд*. 2014. № 2. С. 23–28.
8. The concentrate ash content analysis of coal flotation based on froth images / J. Tan, L. Liang, Y. Peng, G. Xie // *Minerals Engineering*. 2016. Vol. 92. P. 9–20. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.02.006
9. Froth Stereo Visual Feature Extraction for the Industrial Flotation Process / Lin Zhao, Tao Peng, Yongfang Xie et al. // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019. Vol. 58. P. 14510–14519. DOI: 10.1021/ACS.IECR.9B00426
10. Jahedsaravani A., Massinaei M., Marhaban M.H. An Image Segmentation Algorithm for Measurement of Flotation Froth Bubble Size Distributions // *Measurement*. 2017. Vol. 111. P. 29–37. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.07.023
11. Затонский А.В., Варламова С.А. Использование бликовых отражений для автоматического распознавания параметров пены при флотации калийных руд // *Обогащение руд*. 2016. № 2 (362). С. 49–56. DOI: 10.17580/or.2016.02.09
12. Сегментация изображения пенного продукта флотации: обоснование замены пузырька их бликами / О.С. Логунова, А.В. Леднов, Р.Э. Шилов и др. // *Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах*. 2018. Т. 6, № 1. С. 12–19. DOI: 10.18503/2306-2053-2018-6-1-12-19

13. Малышева А.В. Возможности компьютерного зрения при управлении флотацией калийных руд // Первый шаг в науку. 2015. № 3–4 (3–4). С. 16–19.
14. Федосеева К.А. Усовершенствование адаптивной фильтрации тренда количества бликов с поверхности пены // Прикладная математика и вопросы управления. 2021. № 4. С. 59–71. DOI: 10.15593/2499-9873/2021.4.04
15. Варламова С. А., Затонский А. В., Федосеева К. А. Исследование чувствительности к освещению метода бликового распознавания пен калийных флотационных машин // Обогащение руд. 2021. № 6. С. 29–33.
16. Затонский А.В., Малышева А.В. Модернизация алгоритмов бликового распознавания параметров пенного слоя при флотации калийных руд // Обогащение руд. 2018. № 2 (374). С. 35–41. DOI: 10.17580/or.2018.02.07
17. Логунова О.С., Шилов Р.Э., Леднов А.В. Методика и алгоритмы сегментации изображения пенного продукта флотации // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2018. Т. 9, № 1. С. 72–75.

References

1. Voronin B.A., Chupina I.P., Voronina Ya.V., Zarubina E.V., Simachkova N.N. Sustainable re-production in the agro-industrial complex as an important condition for food security at the regional level. *International Agricultural Journal*. 2022;65(1). (In Russ.) DOI: 10.55186/25876740_2022_6_1_14
2. Putin prizval “rachitel'nee” otnosit'sya k eksportu prodovol'stviya [Putin called for a “more prudent” attitude to food exports]. Available at: <https://www.rbc.ru/politics/05/04/2022/624c3f8c9a794764d26599e9?> (In Russ.)
3. Khamurzaev S.M., Madaev A.A. Impact of various doses of mineral fertilizers on storability and quality of apples. *Agrarnaya nauka*. 2018;(11–12):64–65. (In Russ.) DOI: 10.32634/0869-8155-2018-320-11-64-65
4. Shcherban' P.S., Gapchich A.O., Zhdanov A.V., Letunovskaya O.N. Complex approach to the issue of the efficiency of excess brines utilization at potash mining and processing plants. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*. 2022;(1):102–111. (In Russ.) DOI: 10.21440/2307-2091-2022-1-102-111
5. Malysheva A.V. [Stochastic model of potash ore flotation process]. *Molodezhnaya nauka v razvitii regionov*. 2017;1:185–188. (In Russ.)
6. Bekker V.F. *Reshenie tekhnologicheskikh problem deystviyushchego proizvodstva sredstvami avtomatizatsii. T.1: Proizvodstvo kaliynykh udobreniy* [Solving technological problems of existing production by means of automation. Vol.1: Production of potash fertilizers]. Perm'; 2012. 312 p. (In Russ.)
7. Romanenko S.A., Olennikov A.S. FrothMaster video system introduction experience practice at the “Green mountain-2” plant. *Obogashchenie rud*. 2014;2:23–28. (In Russ.)
8. Tan J., Liang L., Peng Y., Xie G. The concentrate ash content analysis of coal flotation based on froth images. *Minerals Engineering*. 2016;92:9–20. DOI: 10.1016/j.mineng.2016.02.006
9. Lin Zhao, Tao Peng, Yongfang Xie, Weihua Gui, Yongheng Zhao. Froth Stereo Visual Feature Extraction for the Industrial Flotation Process. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2019;58:14510–14519. DOI: 10.1021/ACS.IECR.9B00426
10. Jahedsaravani A., Massinaei M., Marhaban M. H. An Image Segmentation Algorithm for Measurement of Flotation Froth Bubble Size Distributions. *Measurement*. 2017;111:29–37. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.07.023
11. Zaton'skiy A.V., Varlamova S.A. Use of reflection flare spots for automatic recognition of froth parameters in potassium ores flotation. *Obogashchenie rud*. 2016;2(362):49–56. (In Russ.) DOI: 10.17580/or.2016.02.09
12. Logunova O.S., Lednov A.V., Shilov R.E., Muslimov M.B., Baybulatov F.R. Segmentation of the image of the foam product of flotation: substantiation for replacement of the bubble of their glares. *Matematicheskoe i programmnoe obespechenie sistem v promyshlennoy i sotsial'noy sferakh*. 2018;6(1):12–19. (In Russ.) DOI: 10.18503/2306-2053-2018-6-1-12-19
13. Malysheva A.V. [Possibilities of computer vision in the management of potash ore flotation]. *Pervyy shag v nauku*. 2015;3–4(3–4):16–19. (In Russ.)

14. Fedoseeva K.A. Improving the adaptive filtration of the foam surface glare trend. *Prikladnaya matematika i voprosy upravleniya*. 2021;(4):59–71. (In Russ.) DOI: 10.15593/2499-9873/2021.4.04
15. Varlamova S.A., Zatonskiy A.V., Fedoseeva K.A. [Investigation of the sensitivity to illumination of the method of glare recognition of foams of potash flotation machines]. *Obogashchenie rud*. 2021;6:29–33. (In Russ.)
16. Zatonskiy A.V., Malysheva A.V. Modernization of algorithms for flare detection of froth layer parameters during flotation of potash ores. *Obogashchenie rud*. 2018;2(374):35–41. (In Russ.) DOI: 10.17580/or.2018.02.07
17. Logunova O.S., Shilov R.E., Lednov A.V. [Technique and algorithms for image segmentation of the froth product of flotation]. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*. 2018;9(1):72–75. (In Russ.)

Информация об авторах

Затонский Андрей Владимирович, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; z Xenon@narod.ru.

Варламова Светлана Александровна, канд. техн. наук, доц. кафедры автоматизации технологических процессов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Березниковский филиал, Березники, Россия; varlamovasa@mail.ru.

Федосеева Кристина Александровна, аспирант, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia; kristya_0103@mail.ru.

Information about the authors

Andrey V. Zatonskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; z Xenon@narod.ru.

Svetlana A. Varlamova, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof. of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University, Berezniki Branch, Berezniki, Russia; varlamovasa@mail.ru.

Kristina A. Fedoseeva, Postgraduate Student, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia; kristya_0103@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.06.2022

The article was submitted 20.06.2022

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В МНОГОСЛОЙНОЙ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПЛАСТИНЕ

Л.Ю. Костылева, kostylevali@susu.ru

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. При использовании метода активного теплового неразрушающего контроля для выявления скрытых дефектов в изделиях из многослойных биметаллических материалов большое значение имеет адекватный выбор технологических режимов контроля. Одним из важных параметров является оптимальное время наблюдения, при котором обеспечивается достаточная амплитуда температурного сигнала над дефектом. Данная величина зависит от геометрии контролируемого объекта, его теплофизических характеристик, а также выбранных режимов и процедур контроля. Для определения этого параметра используют различные экспериментальные исследования. Для биметаллических пластин подготовка образцов для натуральных экспериментов является технологически сложной и дорогостоящей задачей. Поэтому большой объем подготовительных исследований проводят в виде вычислительного эксперимента, в ходе которого с определенными допущениями моделируют процесс изменения теплового состояния объекта контроля. **Цель исследования:** определение оптимальных параметров процесса теплового контроля трехслойной сталеалюминиевой пластины с дефектом в виде воздушной прослойки между металлами. Для различных вариантов взаимного расположения устройства регистрации температуры и источника теплового потока различной мощности необходимо определить время нагрева, при котором наблюдается температурный сигнал достаточной амплитуды. **Материалы и методы.** Используются методы математического и компьютерного моделирования. Приведен пример решения задачи методом конечных элементов в программном пакете Agros2D. **Результаты.** Получены расчетные данные, на основе которых построены распределения температурного сигнала по поверхности многослойной биметаллической пластины со стороны дефекта при различных режимах нагрева, мощности теплового потока, взаимного расположения источника тепловой стимуляции и устройства регистрации температуры, а также определена зависимость температурного сигнала над дефектом от времени нагрева. **Заключение.** На основе проведенного моделирования определены температурные зависимости, необходимые для интерпретации результатов теплового контроля многослойных биметаллических пластин, а также соотношения параметров процесса нагрева, способствующие получению температурного сигнала достаточной амплитуды. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших экспериментальных исследований процессов активного теплового контроля изделий из многослойных биметаллических материалов.

Ключевые слова: биметаллы, активный тепловой неразрушающий контроль, численное моделирование, метод конечных элементов, дефект соединения между слоями металлов, дефектоскопия

Для цитирования: Костылева Л.Ю. Моделирование нестационарной теплопередачи в многослойной биметаллической пластине // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 68–79. DOI: 10.14529/ctcr220307

Original article

DOI: 10.14529/ctcr220307

NUMERICAL MODELING OF TRANSIENT HEAT TRANSFER IN A MULTILAYER BIMETALLIC PLATE

*L.Yu. Kostyleva, kostylevali@susu.ru**South Ural State University, Chelyabinsk, Russia*

Abstract. When using the method of active thermal non-destructive testing to detect latent defects in multilayer bimetallic products, the adequate choice of technological modes of testing is of great importance. One of the important parameters is the optimum observation time, at which a sufficient amplitude of the temperature signal over the defect is provided. This value depends on the controlled object geometry, its thermophysical characteristics, and also selected testing modes and procedures. Various experimental studies are used to determine the optimum observation time. Preparing bimetallic plates samples for full-scale experiments is a technologically complex and expensive task. Therefore, a large amount of preparatory research is carried out in the form of a numerical experiment, during which, with certain assumptions, changing the thermal state of the control object is simulated. **Aim.** Determination of optimal parameters of the thermal NDT process for a three-layer steel-aluminum plate with a planar delamination defect between the metal layers. For different variants of mutual location of the temperature registration device and source of heat flux of different power it is necessary to determine the heating time at which the sufficient amplitude of temperature signal is observed. **Materials and methods.** The methods of mathematical and computer modeling were used. Solving the task by the finite element method with the Agros2D code is given. **Results.** The calculation data have been obtained, which are used as the basis for constructing the temperature signal distribution over the bimetallic plate surface above the defect under different heating modes, heat flux rate, relative position of the heat stimulation source and temperature registration device, as well as determining the temperature signal dependence over the defect on the heating time. **Conclusion.** On the basis of modeling the temperature dependences necessary for interpretation of the results of thermal NDT of multilayered bimetallic plates have been determined, as well as the relations between the parameters of the heating process, which contribute to obtaining a temperature signal of sufficient amplitude. The results can be used for further experimental studies of the active thermal NDT processes of multilayer bimetallic materials.

Keywords: bimetal, active thermal non-destructive testing, numerical modeling, finite element method, delamination in metal layers, flaw detection

For citation: Kostyleva L.Yu. Numerical modeling of transient heat transfer in a multilayer bimetallic plate. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):68–79. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220307

Введение

Для выявления дефектов соединения слоев в изделиях из многослойных биметаллических материалов применяют различные методы неразрушающего контроля, в том числе активный тепловой контроль (ТК) [1, 2]. При проведении активного ТК поверхность изделия с одной из сторон нагревается (или охлаждается) под воздействием источника теплового нагружения. В процессе тепловой стимуляции или после ее окончания выполняется регистрация температуры в различных точках поверхности объекта при помощи контактных или бесконтактных устройств (термодатчиков, пирометров, тепловизоров и др.). Измерение температуры может быть произведено со стороны нагрева (такую процедуру принято называть односторонней или «контролем на отражение») или с обратной стороны изделия (двухсторонняя процедура или «контроль на прохождение»), а также на боковой поверхности объекта [1].

При дальнейшем анализе записи температурного поля (например, в виде термограммы) можно выявить участки объекта с локальными изменениями температуры, которые свидетельствуют о наличии неоднородностей в материале.

ТК позволяет выявить различные виды дефектов: трещины [1], расслоения в местах сварки или склейки [3], отклонения толщины слоев [4], поры, пустоты и раковины [5, 6], нарушения изоляции [7] в изделиях из металлов, пластмасс и полимеров, биметаллов и композитных материалов с различными формами и качеством поверхности.

Диагностировать тип дефекта под аномальным участком и определить его параметры можно лишь при наличии в составе системы ТК адекватных математических моделей и алгоритмов, позволяющих интерпретировать результаты контроля в зависимости от свойств объекта и используемых технологических режимов.

Основным информативным параметром при выявлении дефектов методом теплового неразрушающего контроля служит величина дифференциального температурного сигнала – температурного перепада над аномальным участком. Она определяется как локальная разность температур поверхности объекта, измеренных над дефектной областью и участком без дефекта [1, 2].

Величина температурного сигнала изменяется в процессе нестационарного нагрева (охлаждения), достигая максимального значения в определенный момент времени. Для металлов данный момент составляет от долей секунд до десятков секунд, для неметаллов может достигать десятков минут, в зависимости от теплофизических и геометрических характеристик объекта, глубины залегания и типа дефекта. При этом увеличение мощности тепловой стимуляции и уменьшение интенсивности теплообмена улучшают условия выявления дефектов [2].

В большинстве случаев используют процедуры импульсного активного ТК, поскольку в стационарном режиме сигналы от дефектов нивелируются из-за выравнивания температуры по объему тела, а в условиях теплообмена с окружающей средой разность температур среды и тела не позволяет достичь достаточного значения амплитуды сигнала.

Так, при дефектоскопии турбинных лопаток с металлокерамическим покрытием толщиной 0,18 мм оптимальное время импульсного нагрева измеряется миллисекундами, поскольку при увеличении времени нагрева происходит диффузия тепла в материале и искажается температурный отпечаток, соответствующий дефектной области. Для материалов с высокой теплопроводностью (например, алюминия) более точные оценки размеров дефекта имеют место при высокой мощности тепловой стимуляции (порядка 1 МВт) и малых временах наблюдения (менее 0,01 с) [1].

Поэтому в каждом конкретном случае необходимо выбирать оптимальный момент регистрации температурного сигнала в зависимости от параметров объекта контроля и режима нагрева.

Оптимальное соотношение параметров режима нагрева и времени контроля можно выявить в ходе натурного эксперимента. Однако для биметаллических пластин подготовка экспериментальных образцов с заданными параметрами дефектов является технологически сложной и дорогостоящей задачей. Поэтому немаловажным является этап моделирования, в ходе которого можно с определенными допущениями имитировать процесс изменения теплового состояния объекта контроля с целью определения момента времени, когда величина температурного сигнала достигает оптимального значения при выбранной мощности тепловой стимуляции.

Математические модели процессов теплопередачи в многослойных объектах представляют собой системы линейных и нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих распределение температурного поля в материале с переменными теплофизическими характеристиками под влиянием источников теплового нагружения, условий контакта между слоями пластины и воздействия окружающей среды [8]. Для определения глубины залегания дефекта и его раскрытия («толщины») обычно используют одномерные модели [9, 10]. Двух- и трехмерные модели применяют при необходимости определения поперечных размеров («протяженности») дефекта, так как они позволяют учитывать рассеяние тепла вокруг участка многослойного материала с нарушенной структурой и более корректно определять температурный сигнал над дефектом [1, 4, 5].

Решение многомерных нелинейных задач теплопереноса в аналитической форме часто сопряжено с большими математическими трудностями и не всегда возможно. В таких ситуациях применяют численные методы на основе сеточной аппроксимации исследуемого объекта – метод конечных разностей (МКР), методы конечных элементов (МКЭ) и граничных элементов (МГЭ). Они предполагают замену исходных дифференциальных уравнений алгебраическими за счет дискретизации объекта моделирования [7, 11, 12].

Основной особенностью МКЭ является разбиение исследуемого объекта на небольшие части (конечные элементы, КЭ), включающие некоторое количество узловых точек, в которых выполняется вычисление искомых функций температуры методами вариационного исчисления. В качестве конечных элементов при различных методах расчета могут использоваться треугольники, четырехугольники, криволинейные элементы, в том числе в различных комбинациях. Границы КЭ располагаются по линиям изменения геометрии, внешней нагрузки или свойств материалов.

Для повышения точности расчетов в узлах концентрации температурных градиентов используют элементы меньшей площади.

Моделирование методом конечных элементов обычно производится с использованием специализированных компьютерных систем класса CAE (computer-aided engineering).

В настоящее время известно довольно большое число конечно-элементных пакетов для решения различных задач как коммерческих, так и свободно распространяемых, в том числе с открытым исходным кодом. Коммерческие программные продукты более удобны для пользователя, содержат хорошо проработанные, понятные препроцессоры и постпроцессоры. К наиболее известным проприетарным пакетам, при помощи которых можно решать задачи теплопередачи, относятся ANSYS [13] и COMSOL Multiphysics [14].

Разработка свободно распространяемого программного обеспечения для конечно-элементного моделирования ведется в основном силами академических групп. Такие пакеты не всегда обладают дружелюбным интерфейсом, но при этом используют наиболее современные эффективные алгоритмы и вычислительные процедуры. Среди указанных пакетов можно выделить Agros2D, созданный группой исследователей из Западночешского университета в г. Пльзене [15]. Основными особенностями Agros2D являются возможность численного моделирования мультифизических (связанных) нелинейных задач, использование треугольных, четырехугольных и криволинейных конечных элементов, одновременное использование разных сеток для разных физических полей, автоматическое наложение сеток различной плотности, а также встроенная поддержка языка Python, в том числе вычислительных и графических библиотек. Перечисленные возможности в совокупности с удобным интерфейсом способствовали выбору пакета Agros2D в качестве средства моделирования в проведенном исследовании.

Целью данной работы является определение оптимальных параметров процесса теплового контроля трехслойной сталеалюминиевой пластины с дефектом в виде воздушной прослойки между металлами посредством компьютерного моделирования с использованием пакета Agros2D. Рассматриваются различные варианты взаимного расположения устройства регистрации температуры и источника теплового потока различной мощности, и определяется время нагрева, при котором наблюдается температурный сигнал достаточной амплитуды.

1. Математическая модель нестационарной теплопередачи в многослойной биметаллической пластине при наличии дефекта соединения слоев

Для разработки модели теплового контроля многослойного биметаллического материала с дефектами опишем свойства объекта и условия проведения компьютерного моделирования.

Объект контроля представляет собой трехслойную пластину, наружные слои которой (1, h_1) и (3, h_3) изготовлены из нержавеющей стали, а между ними находится теплораспределительный слой (2, h_2) из алюминия или меди, при этом тепловой поток от источника теплового нагружения $q_{изл}$ направлен по нормали к слоям (рис. 1).

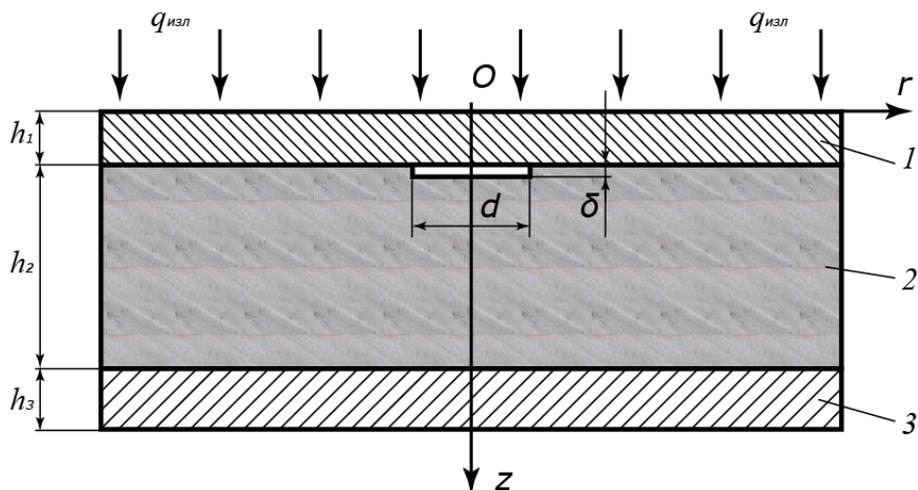


Рис. 1. Трехслойная пластина с цилиндрическим дефектом, ее основные размеры
Fig. 1. Three-layer plate with a cylindrical delamination, its main dimensions

Дефекты расслоения могут присутствовать в местах контакта наружных слоев изделия с внутренним теплораспределительным слоем с одной или другой его сторон. Поперечные размеры дефектов (диаметр d и толщина δ) ограничены и существенно меньше размера пластин.

Процесс нагрева соответствует условиям проведения импульсного активного ТК. Для выявления дефектов с обеих сторон теплораспределительного слоя модель должна учитывать условия проведения односторонней и двусторонней процедур ТК.

При моделировании теплового состояния объекта был принят ряд допущений и ограничений.

Для обеспечения возможности определения поперечных размеров дефектов пластина рассматривается как симметричная относительно оси z в цилиндрической системе координат (r, z) . Все слои пластины имеют форму цилиндра радиуса R , причем $R \gg h_i$. Для температурного поля имеет место осевая симметрия ($dT/d\varphi = 0$), считаем, что температурное поле нестационарное и двумерное – $T(r, z, \tau)$.

В активных процедурах ТК мощность потока нагрева обычно значительно превышает мощность встречного потока теплоотдачи от тела за счет конвекции и излучения, поэтому теплообмен со стороны источника теплового нагружения можно представить как адиабатический. Влияние конвективной составляющей теплоотдачи со стороны нагрева учитывается только для периода остывания образца.

Отсутствует термическое сопротивление в контакте пластин соседних слоев. Контакт между отдельными слоями пластины полагаем идеальным, то есть на границе раздела выполняется равенство температур и тепловых потоков (граничное условие 4 рода). Передачей тепла в цилиндрическом воздушном зазоре можно пренебречь.

С учетом сформулированных допущений будем полагать, что распределение температуры в исследуемом объекте описывается уравнением теплопроводности ($\tau > 0$, $0 \leq r \leq R$, $0 \leq z \leq (h_1 + h_2 + h_3)$) (см. рис. 1)

$$\frac{\partial T_i}{\partial \tau} = a_i \cdot \left(\frac{\partial^2 T_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_i}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где $i = 1, 2, 3$ – номер слоя; τ – время; $T(r, z, \tau)$ – температура, $a_i = \lambda_i / (c_i \cdot \rho_i)$ – коэффициент температуропроводности; λ_i , ρ_i , c_i – соответственно теплопроводность, плотность и удельная теплоемкость металлов.

Индекс 1 соответствует стали при $0 \leq z \leq h_1$; индекс 2 – алюминию при $h_1 \leq z \leq (h_1 + h_2)$; индекс 3 – стали при $(h_1 + h_2) \leq z \leq (h_1 + h_2 + h_3)$.

Для решения дифференциального уравнения (1) его необходимо дополнить краевыми условиями.

В начальный момент времени считаем, что температура во всех точках расчетной области равна температуре окружающей среды (для $0 \leq z \leq (h_1 + h_2 + h_3)$, $0 \leq r \leq R$):

$$T(r, z, 0) = T_0. \quad (2)$$

Граничные условия (ГУ).

На оси цилиндра имеем условие осевой симметрии (для $r = 0$, $0 \leq z \leq (h_1 + h_2 + h_3)$)

$$\frac{\partial T_i}{\partial r} = 0. \quad (3)$$

На верхней стенке пластины 1 для ($0 \leq r \leq R$, $z = 0$) в период нагрева пластины имеем $0 < \tau \leq \tau_1$ граничное условие 2-го рода

$$q_{\text{изл}} = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z}, \quad (4)$$

а при нагреве с обратной стороны граничное условие 3-го рода

$$\alpha_{\text{окр}} (T_1 - t_{\text{окр}}) = -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z}, \quad (5)$$

где $q_{\text{изл}}$ – тепловой поток нагрева пластины путем теплового излучения; $\alpha_{\text{окр}}$ – приведенный ко-

эффицент теплоотдачи (излучением и конвекцией) от внешней поверхности стенки, имеющей температуру T_1 , в окружающую среду с температурой $t_{\text{окр}}$.

Исследуемый параметр – дифференциальный температурный сигнал ΔT , равный разности температур в исследуемой точке T и в зоне, принятой за бездефектную, $T_{\text{бд}}$:

$$\Delta T(r, z, \tau) = T(r, z, \tau) - T_{\text{бд}}(r, z, \tau). \quad (6)$$

Подробное описание модели импульсного нагрева и последующего остывания многослойной пластины при наличии дефекта расслоения с учетом граничных условий и различных вариантов нагрева и охлаждения (односторонний и двухсторонний тепловой контроль) приведено в [11]. Вследствие нелинейности уравнений и сложных граничных условий получить точное аналитическое решение данной задачи не представляется возможным.

2. Проведение компьютерного моделирования импульсного нагрева трехслойной пластины с дефектом с применением программного пакета Agros2D

Рассмотрим решение задачи методом конечных элементов в программном пакете Agros2D. Размеры и теплофизические характеристики материалов объекта контроля (см. рис. 1) приведены в таблице.

Размеры и теплофизические характеристики образца
Sample dimensions and thermophysical characteristics

Параметр	Наружные слои (1, 3)	Внутренний слой (2)	Дефект
Толщина, мм	1,7	5,6	0,2
Диаметр, мм	100	100	10
Материал	Сталь	Алюминий	Воздух
Плотность, кг/м ³	7850	2712	1,2
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	504	897	1005
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	17	203,5	0,02

Начальная температура пластины $T_0 = 20$ °С, температура окружающей среды $t_{\text{окр}} = 20$ °С. Мощность теплового потока нагрева $q_{\text{изл}}$ в различных вариантах решения составляет 6, 10 и 30 кВт/м².

Наблюдение температурного сигнала при нестационарном нагреве ведется на отрезке времени $\tau_1 = 60$ с, шаг расчета 0,1 с.

Этапы выполнения моделирования в Agros2D в целом соответствуют процессу проведения вычислений в других известных конечно-элементных пакетах. На начальном этапе заданы свойства задачи. Выбран тип координат (осесимметричный) и сетки КЭ (треугольная). Добавлено физическое поле (*Heat Transfer*) и определены общие свойства процесса (нестационарный с начальной температурой 293,15 К). Для анализа нестационарного процесса заданы метод определения шага (фиксированный шаг), общее время расчета и количество шагов.

После этого в препроцессоре создана геометрическая модель многослойной пластины с дефектом. Объект имеет простую форму, поэтому были заданы координаты вершин элементов (*Node*) и построены ребра (*Edge*). Вдоль ребер заданы граничные условия – нагрев с заданной мощностью теплового потока с одной из сторон пластины и теплоотдача конвекцией в окружающую среду на противоположной стороне и на боковой поверхности. На оси пластины задано граничное условие, соответствующее осевой симметрии. Для отдельных слоев пластины и воздушной прослойки заданы теплофизические характеристики материала. Полученная модель пластины представлена на рис. 2а.

После формирования модели выполнено наложение сетки конечных элементов. Agros2D автоматически адаптирует размер сетки в области дефекта. Размер элементов сетки у границ дефекта составляет 0,05...0,1 мм, в зонах более равномерного изменения температуры достигает 0,5...2 мм (рис. 2б).

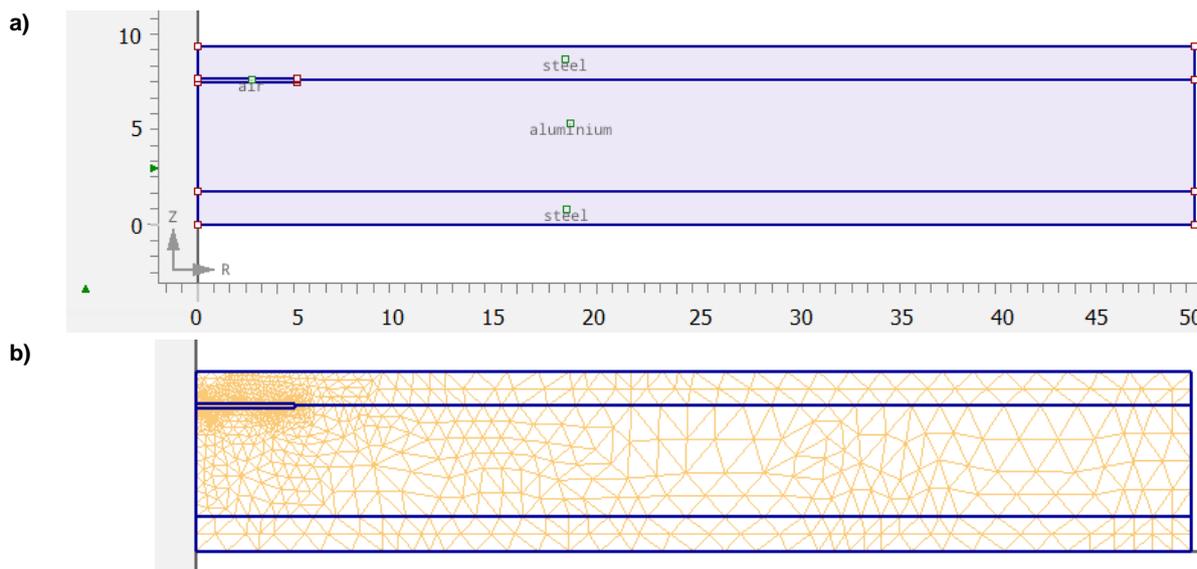


Рис. 2. Конечно-элементная осесимметричная модель трехслойной пластины с дефектом:
а – в препроцессоре; б – с наложенной сеткой конечных элементов
Fig. 2. Finite element axisymmetric model of a three-layer plate with a delamination:
a – in the preprocessor; b – with finite element mesh

В постпроцессоре отображается двумерная и трехмерная модель пластины после окончания нагрева (рис. 3).

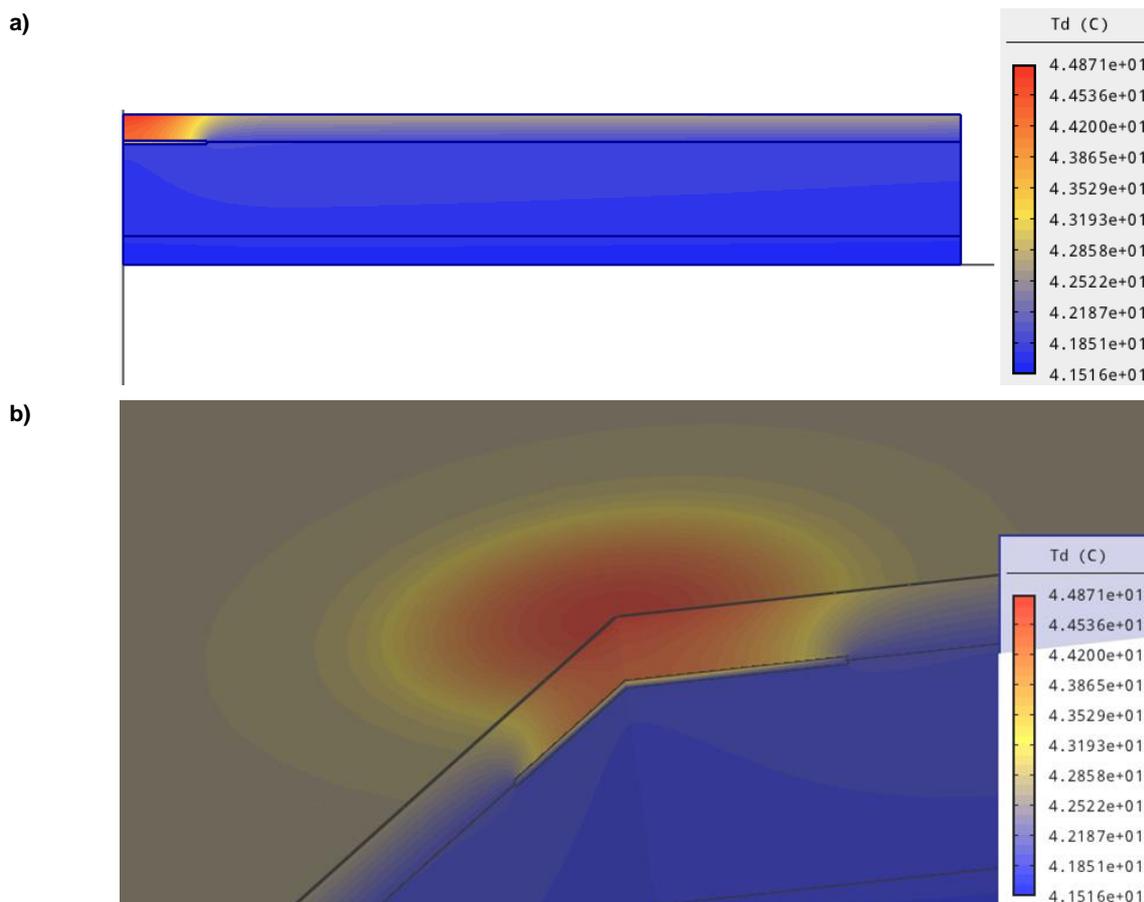


Рис. 3. Распределение температуры при измерении со стороны нагрева по истечении 60 с при мощности теплового потока 10 кВт: а – в сечении пластины; б – в трехмерной модели пластины
Fig. 3. Temperature distribution on the heating side after 60 s with the heat flux power of 10 kW:
a – in the cross section of the plate; b – in 3D-model of the plate

Также в постпроцессоре построены графики распределения температуры по поверхности пластины вдоль ее радиуса, изменения температуры в точке поверхности на оси пластины и выполнен экспорт значений температуры в точках поверхности пластины для проведения дальнейших расчетов.

Расчеты проведены для различных значений мощности теплового потока и положения источника нагрева. Нагрев задавался поочередно на верхней и нижней стенке пластины, измерения производились на верхней стенке (со стороны дефекта).

3. Результаты моделирования

По результатам моделирования построены графики дифференциального температурного сигнала для всех вариантов численного эксперимента.

На рис. 4 представлена картина распределения температурного сигнала по поверхности пластины со стороны дефекта при нагреве сверху (рис. 4а) и снизу (рис. 4б).

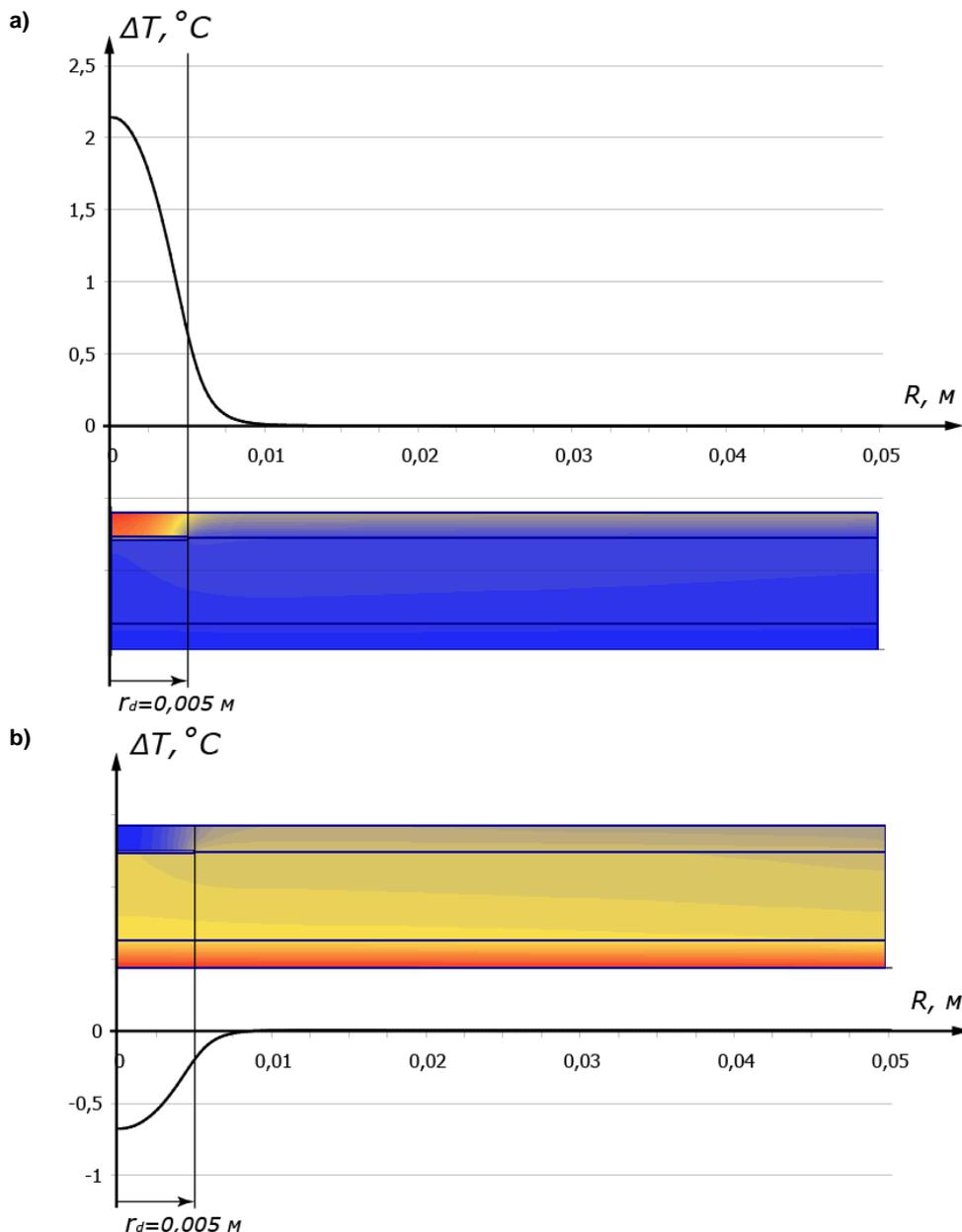


Рис. 4. Температурный сигнал над дефектом при мощности теплового потока 10 кВт:
а – при нагреве со стороны дефекта; б – при нагреве с обратной стороны
Fig. 4. Temperature signal above the defect at a heat flux power of 10 kW:
а – with front-surface heating; б – with rear-surface heating

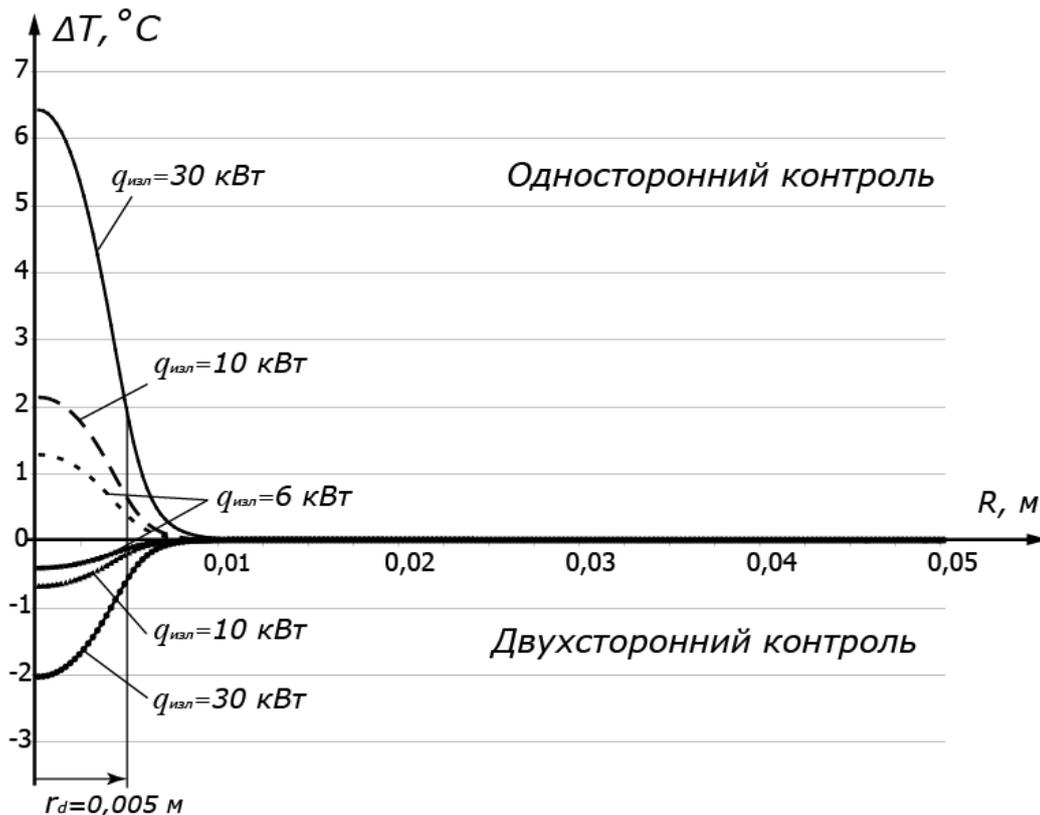


Рис. 5. Температурный сигнал над дефектом при различной мощности теплового воздействия
Fig. 5. Temperature signal above the defect at different power of thermal flux

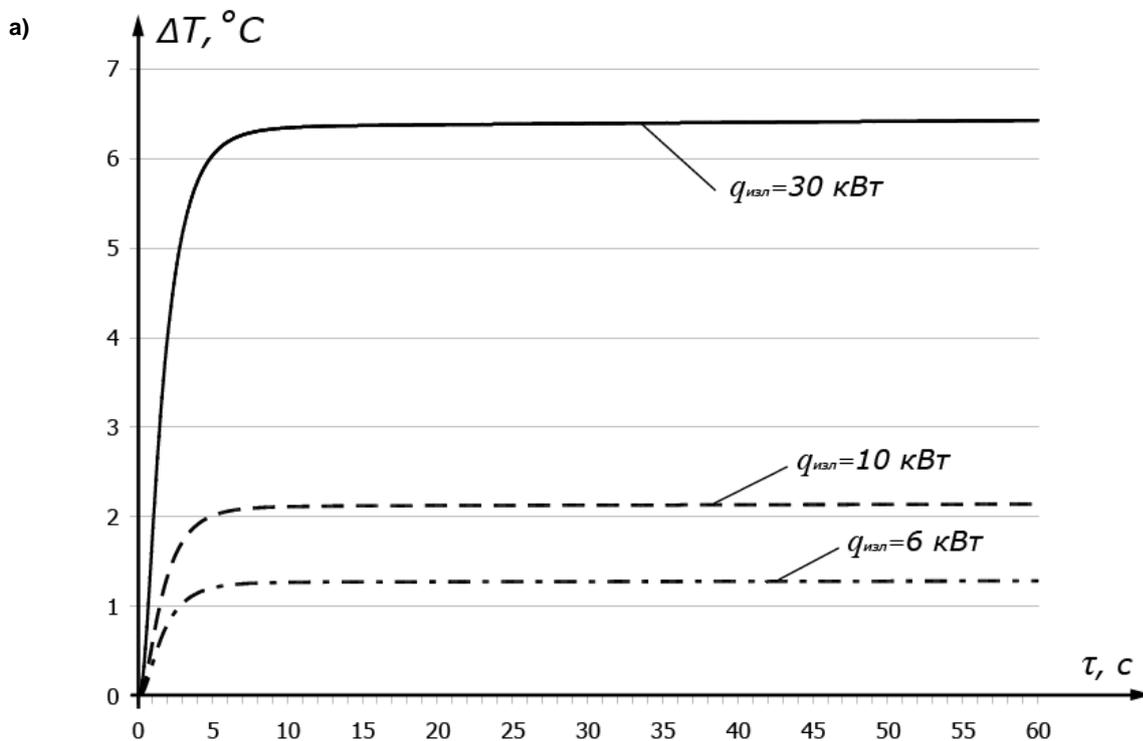


Рис. 6. Зависимость дифференциального сигнала на оси от времени нагрева:
а – при одностороннем контроле; б – при двухстороннем контроле
(см. также с. 77)

Fig. 6. Heating time dependence of the differential temperature signal on the plate center axis:
а – at one-sided test; б – at two-sided test
(see also p. 77)

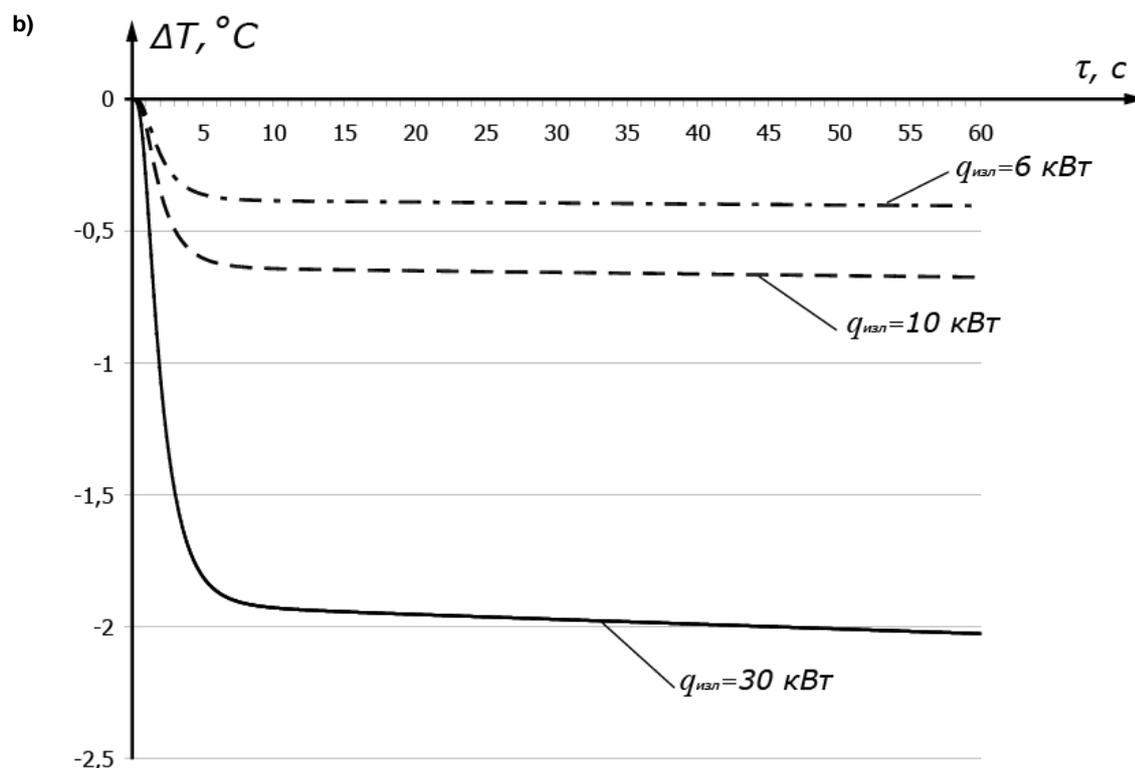


Рис. 6. Окончание
Fig. 6. End

Дефект в виде тонкой воздушной прослойки между металлами оказывает термическое сопротивление тепловому потоку, что приводит к увеличению температуры над дефектом, регистрируемой на нагреваемой поверхности, или к ее понижению, если устройства тепловой стимуляции и регистрации температуры расположены по разным сторонам пластины (при двухсторонней процедуре ТК).

Максимальная величина температурного сигнала наблюдается на оси цилиндрического дефекта.

На рис. 5 показано распределение температурного сигнала по поверхности пластины со стороны дефекта при различной мощности теплового потока нагрева для разных нагреваемых поверхностей.

Увеличение мощности тепловой стимуляции ведет к росту температурного сигнала.

Для определения оптимального времени нагрева пластин построены графики зависимости температурного сигнала над дефектом в центральной точке поверхности пластины от времени (рис. 6).

Во всех рассмотренных случаях можно определить характерный момент времени, до наступления которого температурный сигнал устойчиво растет. При одностороннем контроле время нагрева для исследуемого объекта может быть сокращено до 10 с, при двустороннем – до 15 с. При дальнейшем нагреве сигнал изменяется на сотые доли градуса, что является пределом чувствительности современных тепловизоров.

Заключение

Приведена математическая модель процесса нагрева трехслойной биметаллической пластины с цилиндрическим дефектом в виде воздушной прослойки между металлами. Рассмотрен процесс моделирования импульсного нагрева объекта исследования методом конечных элементов в программном пакете Agros2D. Результаты проведенного моделирования показывают, что дефекты расслоения между металлами оказывают сопротивление тепловому потоку, поэтому при измерении температуры со стороны источника теплового воздействия над дефектом будет наблюдаться локальное повышение температуры, а при расположении устройств тепловой стиму-

ляции и регистрации температуры с разных сторон пластины – ее снижение. Увеличение мощности тепловой стимуляции способствует росту амплитуды температурного сигнала. Максимальная величина сигнала наблюдается на оси дефекта, по результатам последовательных измерений температуры в центральной точке поверхности пластины над дефектом в ходе нагрева определен характерный момент времени, до наступления которого наблюдается устойчивый рост температурного сигнала. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших экспериментальных исследований и при формировании системы активного ТК изделий из многослойных биметаллических материалов.

Список литературы

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль: науч. изд. М.: ИД Спектр, 2009. 544 с.
2. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справ.: в 2 кн. / под ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 1986. Кн. 1. 488 с.
3. Netzelmann U., Walle G. High-speed pulsed thermography of thin metallic coatings // Quantitative Infrared Thermography – QIRT'98. DOI: 10.21611/qirt.1998.011. URL: <https://www.researchgate.net/publication/273344370> (дата обращения: 05.05.2022).
4. Bison P., Marinetti S., Grinzato E. et al. Inspecting thermal barrier coatings by IR thermography // Proc. SPIE. 5073. DOI: 10.1117/12.486019. URL: <https://www.researchgate.net/publication/252574078> (дата обращения: 05.05.2022).
5. Krapez J.-C., Maldague X., Cielo P. Thermographic Nondestructive Evaluation: Data Inversion Procedures Part II: 2-D Analysis and Experimental Results // Research in Nondestructive Evaluation. 1991. No. 2. P. 101–124. DOI: 10.1080/09349849109409505. URL: <https://www.researchgate.net/publication/261645355> (дата обращения: 05.12.2021).
6. Vavilov V., Marinetti S., Nesteruk D. Accuracy issues in modeling thermal NDT problems [Электронный ресурс] // Proc SPIE. 6939. DOI: 10.1117/12.775684. URL: <https://www.researchgate.net/publication/252222222> (дата обращения: 05.05.2022).
7. Есьман Р.И., Шевцов В.Ф. Компьютерное моделирование тепловых процессов в многослойных композиционных структурах // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. 2006. № 5. С. 62–67.
8. Ячиков И.М., Логунова О.С., Портнова И.В. Математическое моделирование теплофизических процессов. Магнитогорск: МГТУ, 2004. 175 с.
9. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л.: Энергия, 1976. 349 с.
10. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1975. 488 с.
11. Определение параметров дефекта расслоения биметаллической пластины посредством активного теплового неразрушающего контроля / О.В. Логиновский, Л.Ю. Костылева, А.А. Максимов, И.М. Ячиков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2021. Т. 21, № 4. С. 37–51. DOI: 10.14529/ctcr210404
12. Numerical solution of coupled problems using code Agros2D / P. Karban, F. Mach, P. Kůs et al. // Computing. 2013. Vol. 95, iss. 1 Supplement. P. 381–408. URL: <https://www.researchgate.net/publication/257448118> (дата обращения: 05.05.2022).
13. Ansys Lumerical HEAT 3D Heat Transport Solver. URL: <https://www.ansys.com/products/photonics/heat> (дата обращения 15.05.2022).
14. SauseM. Modeling of NDT Methods Using COMSOL Multiphysics® [Электронный ресурс]. URL: <https://www.comsol.com/blogs/modeling-of-ndt-methods-using-comsol-multiphysics> (дата обращения: 05.05.2022).
15. Agros Suite. URL: <http://www.agros2d.org> (дата обращения: 15.05.2022).

References

1. Vavilov V.P. *Infrakrasnaya termografiya i teplovoy kontrol'* [Infrared Thermography and Thermal Nondestructive Testing]. Moscow: ID Spektr; 2009. 544 p. (In Russ.)
2. Klyuyev V.V. (Ed.). *Pribory dlya nerazrushayushchego kontrolya materialov i izdeliy: sprav.* [Nondestructive testing instruments for materials and products. Handbook]. In 2 books. Book 1. Moscow: Mashinostroyeniye Publ.; 1986. 488 p. (In Russ.)

3. Netzelmann U., Walle G. High-speed pulsed thermography of thin metallic coatings. In: *Quantitative Infrared Thermography – QIRT'98*. DOI: 10.21611/qirt.1998.011. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/273344370> (accessed 05 May 2022).
4. Bison P., Marinetti S., Grinzato E. et al. Inspecting thermal barrier coatings by IR thermography // In: *Proc. SPIE*. 5073. DOI: 10.1117/12.486019. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/252574078> (accessed 05 May 2022).
5. Krapez J.-C., Maldague X., Cielo P. Thermographic Nondestructive Evaluation: Data Inversion Procedures Part II: 2-D Analysis and Experimental Results. *Research in Nondestructive Evaluation*. 1991;(2):101–124. DOI: 10.1080/09349849109409505. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/261645355> (accessed 05 May 2022).
6. Vavilov V., Marinetti S., Nesteruk D. Accuracy issues in modeling thermal NDT problems. In: *Proc SPIE*. 6939. DOI: 10.1117/12.775684. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/252222222> (accessed 05 May 2022).
7. Yes'man, R.I., Shevtcov V.F. [Numerical modeling of thermal processes in multilayer composite structures]. *Proceedings of Higher Educational Institutions and Energy Associations of the CIS. Energetics*. 2006;(5):62–67. (In Russ.)
8. Yachikov I.M., Logunova O.S., Portnova I.V. *Matematicheskoye modelirovaniye teplofizicheskikh protsessov* [Mathematical modeling of thermophysical processes]. Magnitogorsk: MSTU Publ.; 2004. 175 p. (In Russ.)
9. Pekhovich A.I., Zhidkikh V.M. *Raschety teplovogo rezhima tverdykh tel* [Calculations of the solids' thermal mode]. Leningrad: Energiya Publ.; 1976. 349 p. (In Russ.)
10. Isachenko V.P., Osipova V.A., Sukomel A.S. *Teploperedacha* [Heat transmission]. Moscow: Energiya Publ.; 1975. 488 p. (In Russ.)
11. Loginovskiy O.V., Kostyleva L.Yu., Maksimov A.A., Yachikov I.M. Determination of the Parameters of the Lamination of a Bimetallic Plate by Means of Active Thermal Non-Destructive Control. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2021;21(4):37–51. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr210404
12. Karban P., Mach F., Kús P., Pánek D., Doležel I. Numerical solution of coupled problems using code Agros2D. *Computing*. 2013;95(1 Supplement):381–408. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/257448118> (accessed 05 May 2022).
13. *Ansys Lumerical HEAT 3D Heat Transport Solver*. Available at: <https://www.ansys.com/products/photonics/heat> (accessed 15 May 2022).
14. Sause M. *Modeling of NDT Methods Using COMSOL Multiphysics®*. Available at: <https://www.comsol.com/blogs/modeling-of-ndt-methods-using-comsol-multiphysics> (accessed 05 May 2022).
15. *Agros Suite*. Available at: <http://www.agros2d.org> (accessed 15 May 2022).

Информация об авторе

Костылева Лилия Юрьевна, старший преподаватель кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; kostylevali@susu.ru.

Information about the author

Liliya Yu. Kostyleva, Senior Lecturer, Department of Information and Analytical Support of Management in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; kostylevali@susu.ru.

Статья поступила в редакцию 14.06.2022

The article was submitted 14.06.2022

Управление в социально-экономических системах Control in social and economic systems

Научная статья

УДК 351

DOI: 10.14529/ctcr220308

РАЗВИТИЕ УМНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ РЕГИОНАМИ РОССИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

О.В. Логиновский¹, loginovskiiiov@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3582-2795>

А.В. Голлай¹, alexander@hollay.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5070-6779>

А.Л. Шестаков¹, a.l.shestakov@susu.ru

К. А. Коренная², kkris221@mail.ru

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² АО «Кузнецкие ферросплавы», Новокузнецк, Россия

Аннотация. В связи с крайним обострением военной, политической и экономической ситуации в мире, введением Соединенными Штатами Америки и другими странами Запада различного рода санкций против нашей страны управление развитием регионов, агломераций и городов, а также промышленных предприятий и корпораций, расположенных на их территориях приобретает особо важное значение. **Цель работы.** Решению задачи повышения эффективности управления субъектами Российской Федерации, а также промышленными предприятиями, дислоцированными на их территориях, посвящена тема данной статьи, и является целью научных разработок, представленных в данной статье. **Материалы и методы.** На основе анализа работ в области создания умного управления в регионах России, а также нормативной подосновы, на которой базируются эти разработки, показаны недостатки сложившейся практики внедрения умного управления в субъектах РФ и предложен комплекс научно-практических положений по вопросам развития умного управления в регионах страны. При этом стратегии развития умного управления в регионах формируются с учетом и во взаимосвязи концепций и проектов умного управления в конкретных регионах. **Результаты.** Представлен целостный комплекс научных положений и разработок авторов данной статьи, позволяющий существенно повысить эффективность стратегического развития умных технологий в управлении отечественными регионами. В значительно изменившихся условиях ведения бизнеса, связанного с преодолением последствий санкций Соединенных Штатов Америки и других стран Запада, а также обострением отношений между политическими конкурентами в мире, особое значение приобретают технологии и алгоритмы формирования стратегий развития умных предприятий в отечественных регионах. Приведены основные адекватные методы повышения эффективности стратегического и оперативного управления промышленными предприятиями в этих новых условиях. **Заключение.** Показано, что создание стратегии умного управления в регионах Российской Федерации следует осуществлять в соответствии с комплексом научных положений, методов и алгоритмов, представленных в данной статье. Кроме того, приведены материалы и разработки, на основе которых промышленные предприятия могут формировать основные приоритеты по собственному стратегическому развитию в новых условиях хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: методы и механизмы умного управления, стратегии развития регионов, промышленные предприятия

Для цитирования: Развитие умных технологий в управлении регионами России в современных условиях / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, А.Л. Шестаков, К.А. Коренная // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 80–92. DOI: 10.14529/ctcr220308

Original article
DOI: 10.14529/ctcr220308

DEVELOPMENT OF SMART TECHNOLOGIES IN THE MANAGEMENT OF RUSSIAN REGIONS IN MODERN CONDITIONS

O.V. Loginovskiy¹, loginovskiiiov@susu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3582-2795>

A.V. Hollay¹, alexander@hollay.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5070-6779>

A.L. Shestakov¹, a.l.shestakov@susu.ru

K.A. Korennaya², kkris221@mail.ru

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² JSC "Kuznetsk Ferroalloys", Novokuznetsk, Russia

Abstract. Due to the extreme aggravation of the military-political and economic situation in the world, the introduction by the United States of America and other Western countries of various kinds of sanctions against our country, the management of the development of regions, agglomerations and cities, as well as industrial enterprises and corporations located on their territory is of particular importance. **The purpose of the work.** The topic of this article is devoted to solving the problem of improving the efficiency of management of the subjects of the Russian Federation, as well as industrial enterprises located on their territories, and is the purpose of the scientific developments presented in this article. **Materials and methods.** Based on the analysis of works in the field of creating intelligent management in the regions of Russia, as well as the regulatory framework on which these developments are based, the shortcomings of the existing practice of implementing intelligent management in the subjects of the Russian Federation are shown and a set of scientific and practical provisions on the development of intelligent management in the regions of the country is given. At the same time, strategies for the development of intelligent management in the regions are formed taking into account and in relation to concepts and projects of intelligent management in specific regions. **Results.** An integral set of scientific provisions and developments of the authors of this article is presented, which allows to significantly increase the effectiveness of the strategic development of intelligent technologies in the management of domestic regions. In the significantly changed business conditions associated with overcoming the consequences of the sanctions of the United States of America and other Western countries, as well as the aggravation of relations between political competitors in the world, technologies and algorithms for the formation of strategies for the development of intellectual enterprises in domestic regions are of particular importance. The main adequate methods of increasing the efficiency of strategic and operational management of industrial enterprises in these new conditions are given. **Conclusion.** It is shown that the creation of an intelligent management strategy in the regions of the Russian Federation should be carried out in accordance with the complex of scientific provisions, methods and algorithms presented in this article. In addition, materials and developments are presented, on the basis of which industrial enterprises can form the main priorities of their own strategic development in the new conditions of economic activity.

Keywords: methods and mechanisms of smart management, regional development strategies, industrial enterprises

For citation: Loginovskiy O.V., Hollay A.V., Shestakov A.L., Korennaya K.A. Development of smart technologies in the management of Russian regions in modern conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):80–92. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220308

Введение

Обострение отношений между странами Запада и Россией (и ее союзниками) кардинальным образом изменило возможности какого-либо позитивного взаимодействия в решении любых задач по развитию регионов в нашей стране, которое в ближайшее время будет, без сомнения, осуществляться независимо от стран западного содружества, базирующихся на блоке НАТО. Взаимодействие в развитии отечественных регионов, вероятно, будет сохраняться лишь со странами Юго-Восточной Азии и другими государствами, осуществляющими независимую от США политику.

Отметим, что до последнего времени мировая практика умного управления крупными территориями, городами и производственными структурами, дислоцированными на этих территориях, была сосредоточена преимущественно на задачах создания и развития умных городов.

Анализ теоретических разработок по умному управлению городами, достаточно широко представленный в научно-технической литературе [1–17], а также результатов практического внедрения этих технологий и механизмов показывает, что указанные разработки, во-первых, в своем подавляющем большинстве решают лишь локальные и в основном второстепенные задачи управления отдельными городскими сферами. Во-вторых, подавляющая часть таких разработок отнюдь не нацелена на оптимизацию функционирования тех или иных городских подсистем, а также на минимизацию расходов, связанных с внедрением умных технологий и механизмов управления. В-третьих, различные разработки по умному управлению городскими объектами и даже отдельными подсистемами зачастую не образуют в городах умных подсистем управления городским хозяйством в целом.

Все это явно не способствует тому, чтобы городские власти стремились использовать умные механизмы, технологии, методы и модели в своей практической работе.

Кроме того, поскольку различные города на территории даже одних и тех же субъектов РФ, а также в иных регионах и странах мира используют различные механизмы, технологии, методы и модели умного управления, то на уровне даже отдельных регионов возникают ситуации, когда в них внедряется множество однотипных задач, которые на уровне отдельных городов и территорий решаются по-разному, то есть с использованием различных моделей и технологий умного управления. В результате их невозможно объединить в общую стратегию умного управления регионом, не говоря уже об уровне управления государства в целом (федеральный уровень).

Необходимо констатировать также и тот факт, что если еще в совсем недавнем прошлом умные механизмы, технологии и модели управления для различных городов мира привлекали особое внимание ученых и специалистов и весьма активно разрабатывались, внедрялись, а также представлялись в научной литературе, то к настоящему времени повышенный интерес к подобным механизмам и технологиям существенно снизился. Они потеряли ореол особой актуальности и стали именно тем, чем и должны быть в дальнейшем, а именно – утилитарными средствами, способствующими созданию эффективных систем управления городскими средами и коммуникационными сетями различного назначения.

Таким образом, вопросы дальнейшего развития умного управления в городах должны служить достижению своей главной цели – обеспечивать комплексное развитие регионов посредством таких актуальных технологий, которые были бы ориентированы на повышение качества управления в организационных системах органов государственной власти, местного самоуправления и промышленных предприятиях, расположенных на их территориях. При этом умное управление регионами и расположенными на их территориях городами и производственными объектами должно осуществляться комплексно, на основе единой стратегии и базироваться на новейших интеллектуальных информационных технологиях и механизмах умного управления.

Разумеется, что развитие технологий, механизмов и методов умного управления будет осуществляться даже в тех случаях, когда руководители тех или иных территориальных образований не будут считать это своими приоритетными задачами.

Однако эффективное развитие отечественных регионов должно в обязательном порядке осуществляться на основе комплексного развития агломераций городов и территорий, входящих в эти субъекты с обязательным учетом интересов промышленных предприятий конкретных субъектов РФ. Отсюда совершенно очевидно, что концепции умного управления отдельными городскими образованиями, системами и сетями должны быть подчинены стратегическим решениям в рамках развития умного управления регионами. Ведь абсолютно ясно, что даже наиболее грамотные решения по умному управлению в городах и муниципалитетах не позволят достичь наиболее эффективного управления развитием региона в целом, так как в соответствии с известной закономерностью теории систем – глобальный оптимум системы не равен сумме ее локальных оптимумов.

Поэтому система умного управления в регионах должна стать той основой, на базе которой могли бы формироваться концепции умного управления агломерациями, городами, территориями и производственными комплексами в рамках отдельного субъекта РФ.

1. Формирование стратегии умного управления для субъектов Российской Федерации

Прежде всего отметим, что термин «умное управление» во многих случаях понимается по-разному, причем его интерпретация для управления различными городскими и территориальными образованиями еще более неоднозначна.

Напомним, что первые публикации в англоязычной литературе, использующие термин «smart city» («умный город»), появились в 1994 году [15].

Значительный рост публикаций по тематике умного управления в городах произошел позднее. Лавинное увеличение разработок, связанных с методами и механизмами умного управления в городах и иных территориальных субъектах, начинается с 2010 года.

В настоящее время количество городов, которые поставили своей целью стать «умными», превышает несколько сотен по всему миру. В их числе и такие наиболее продвинутые зарубежные, как Барселона (Испания), Копенгаген (Дания), Амстердам (Нидерланды), Сеул (Южная Корея), Сингапур (Республика Сингапур), Сигл (США) и Токио (Япония). Из отечественных умных городов следует назвать Москву, Санкт-Петербург и Казань.

Важно понимать, что использование технологий умного управления в различных городах мира происходило по большей части независимо друг от друга. Какой-то единой унифицированной концепции умного управления городами, агломерациями или иными территориальными и производственными субъектами ни за рубежом, ни в России в те годы (как, впрочем, и значительно позднее) создано не было, в сущности ее нет и сейчас, хотя имеются отдельные попытки концептуального осмысления того, как следует развивать технологии умного управления в городах и даже более крупных территориальных образованиях.

Собственно, этап анализа отдельных разрозненных теоретических разработок в области использования умных технологий в управлении регионами, а также расположенными на их территориях агломерациями, городами и иными территориальными образованиями пока далеко не завершен. Поэтому крайне необходимо завершить критический анализ как теоретических разработок в области умного управления территориальными субъектами, так и дать оценку имеющимся на сегодняшний день практическим результатам их применения.

В этом контексте нельзя не упомянуть, что в составе первых идей по концептуальному осмыслению умного управления были обозначены такие направления, как умная экономика; умные люди; умное управление; умная мобильность, в том числе транспортная инфраструктура; умная городская среда; умное проживание (Giffinger R. Smart Cities: Ranking of European Medium Sized Cities. Vienna, Austria, 2007). В нашей стране данные идеи известны как «шестикомпонентный подход» [5], который неоднократно упоминался в научной литературе [6].

Анализ развития идей по умному управлению можно найти, например, в научных публикациях авторов данной статьи, а именно в [9, 18–21]. Формирование стратегии умного управления территориальными образованиями должно также базироваться на анализе моделей управления промышленными предприятиями в условиях нестабильности внешней среды и необходимости технологического перевооружения с учетом динамично меняющихся условий ведения бизнеса [22, 23].

Разумеется, что формирование стратегий умного управления территориальными субъектами (регионы, агломерации, города, районы) должно базироваться на лучших примерах мирового опыта использования информационных технологий в управлении территориями за ряд прошлых лет, а также на научно-обоснованной платформе стратегического управления регионами, разработанной с учетом принятого в России соответствующего комплекса нормативно-правовых документов.

Как уже отмечалось авторами данной статьи ранее, рекомендации Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) по развитию умного управления в городах, изданные в 2018 году [11], предлагалось осуществлять по следующим направлениям: городское управление; инновации для городской среды; умный городской транспорт; интеллектуальные системы общественной безопасности; интеллектуальные системы экологической безопасности; инфраструктура сетей связи; туризм и сервис.

В 2019 году Минстроем РФ была выпущена методика оценки хода и эффективности цифровой трансформации городского хозяйства в Российской Федерации (IQ городов), включающая 10 направлений (44 показателя) ежегодной оценки и мониторинга: городское управление; умное

ЖКХ; инновации для городской среды; умный городской транспорт; интеллектуальная система общественной безопасности; интеллектуальная система экологической безопасности; туризм и сервис; интеллектуальная система социальных услуг; экономическое состояние и инвестиционный климат; инфраструктура сетей связи. Был создан также банк решений, содержащий примеры проектов умных городов, реализующихся по всему миру.

Полезно помнить, что разнообразным разработкам по умному управлению городами в нашей стране предшествовали работы, связанные с созданием механизмов умного управления государственными и производственными структурами [3, 18], в частности указывалось, что умное управление связано с наличием в организационных структурах умных руководителей, а также использованием последними умных методов и механизмов управления.

Было разработано более 30 механизмов умного управления структурами различного рода, в том числе неманипулируемые механизмы, согласованные механизмы, советующие механизмы, развивающие механизмы и др. [3, 12–14, 19].

Анализ различных разработок по умному управлению показывает, что сводить концепцию умного управления регионами только как к совокупности концепций, а затем и разработок по умному управлению в городах и районах было бы неверно [9], так как в подобных проектах ни при каких условиях не будут учтены дислокационные особенности территориального их размещения.

А даже площади самых небольших регионов Российской Федерации весьма значительны и отличаются «разбросанностью» и своеобразием транспортных и коммуникационных взаимосвязей между собой.

В этой связи целью создания стратегии умного управления регионом является целесообразность рассмотрения задач использования умных механизмов и технологий, прежде всего для субъекта РФ в целом. Такой подход позволит обеспечить учет разнообразия, присущего более сложным системам, по отношению к сравнительно более простым, какими в данном случае являются города и районы внутри субъектов РФ.

Алгоритм формирования стратегии умного управления регионом, по мнению авторов данной статьи, должен содержать следующие позиции.

1. Необходимо осуществить анализ концепций и разработок, выполненных для городов и районов в данном регионе (субъекте РФ). При этом целесообразно ознакомиться с имеющимся опытом разработки концепций умного управления, созданных в регионах с аналогичными особенностями, возможно, что такой опыт может оказаться полезным.

2. Сформулировав цели умного управления для рассматриваемого региона, следует конкретизировать задачи, которые необходимо решить для достижения данных целей.

На основе четко поставленных целей и задач по формированию умного управления в регионах необходимо конкретизировать основные принципы, на базе которых будет разрабатываться стратегия умного управления конкретных субъектов РФ. В их число должно войти отражение того, что цели и задачи стратегического управления регионом являются приоритетными по отношению к целям и задачам развития умного управления в городах и районах, причем последние ни в коем случае не должны мешать реализации первых. В этой связи необходимо подчеркнуть, что стратегии развития городов, расположенных на территории того или иного субъекта РФ, в обязательном порядке должны быть взаимоувязаны со стратегией развития рассматриваемого этого субъекта.

Целесообразным представляется формирование единой цифровой платформы на уровне конкретного субъекта РФ, которую должны использовать все города, дислоцированные на его территории. Такая цифровая платформа должна строиться на базе современной развитой геоинформационной системы [24, 25]. Это позволит обеспечить равные возможности жителям этих городов в доступе к цифровой платформе, а также сократит совокупные издержки субъекта на формирование цифровой среды за счет устранения дублирующих систем.

3. Формирование стратегии умного управления регионом должно в полной мере способствовать развитию принятой для соответствующего субъекта РФ программы его социально-экономического развития, а также реализуемой совокупности крупных градостроительных проектов в регионе (проектов районной планировки, развития транспортной и коммуникационных инфраструктур, генеральных планов городов и т. п.). Целевые показатели развития рассматриваемого

субъекта РФ должны включать как общие показатели развития региона, так и показатели, характеризующие развитие умного управления в его городах и районах.

4. Завершающим блоком стратегии умного управления субъектом РФ должно стать описание подходов, методов и моделей подготовки принятия решений по выбору умных механизмов и технологий формирования таких решений.

В составе системы умного управления регионами РФ могут быть отдельно сформированы подсистемы, которые представляют собой некие банки знаний о технологиях и лучших практиках по умному управлению, доступных для реализации.

В настоящее время создано множество отечественных и зарубежных баз данных и знаний по умному управлению, которые доступны для руководителей и разработчиков систем умного управления в различных территориальных субъектах.

2. Формирование стратегий умных предприятий как важной составляющей системного развития умных регионов

Формирование умных стратегий развития регионов, а также городов и территорий, в них располагающихся, во многом зависит от эффективности работы промышленных предприятий конкретного субъекта Российской Федерации. При этом ключевое значение приобретают не только используемые в управлении территориальным комплексом региона умные технологии, но и методы, модели и механизмы умного управления промышленными предприятиями, расположенными в данном регионе.

Не вызывает сомнений тот факт, что в развитии промышленного потенциала субъектов РФ, а также агломераций и городов, находящихся в этих субъектах, вклад каждого промышленно предприятия, расположенного на их территории, имеет существенное значение. Разумеется, что наибольшая доля здесь принадлежит крупнейшим промышленным предприятиям региона, вклад которых в экономику субъекта РФ доходит в отдельных случаях до 30 и более процентов валового регионального продукта.

Таким образом, чем более значимыми являются результаты деятельности промышленных предприятий, дислоцированных в соответствующих территориальных образованиях субъекта РФ, тем более весомыми становятся итоги его комплексного развития. Поэтому при формировании стратегий умного управления регионами и территориальными образованиями внутри этих субъектов РФ повышение эффективности работы промышленных предприятий становится крайне важным фактором успешности функционирования регионов в целом.

Разработка методов, моделей и механизмов умного управления крупными промышленными предприятиями осуществлялась авторами в течение ряда последних лет [9, 18, 22, 26].

Сегодня очень важно понять, какие методы, модели и механизмы управления промышленными предприятиями следует использовать на практике. Анализ применения различных методов и механизмов умного управления промышленными предприятиями, осуществленный в рамках отдельных производственных компаний, показал, что на сегодняшний день такие методы и механизмы умного управления, как согласованные, неманипулируемые и развивающие, не являются наиболее важными в числе мер по повышению эффективности деятельности предприятий и корпораций. Максимальный результат для роста эффективности работы промышленных предприятий играют методы, модели и механизмы, приведенные далее.

Основные методы по повышению эффективности стратегического и оперативного управления промышленными предприятиями в современных условиях

Рассматривая научные работы по стратегическому и оперативному управлению промышленными предприятиями, прежде всего следует отметить, что в прошлом вопросам стратегического управления промышленными предприятиями отводилась гораздо меньшая роль, чем вопросам управления оперативного. Таким образом, можно констатировать, что в исторической ретроспективе значимость стратегического управления постоянно возрастала и к настоящему времени формированию стратегий развития промышленных предприятий и корпораций отводится едва ли не большая роль, чем управлению оперативному.

Целью функционирования любого промышленного предприятия, осуществляющего выпуск продукции для продажи на рынках как внутреннего, так и международного масштаба, в сущно-

сти, является желание собственников этого предприятия получить наибольшую прибыль. Само собой разумеется, что получение такой прибыли может достигаться на протяжении относительно небольших временных отрезков от нескольких месяцев до нескольких лет, без дополнительных вложений в развитие данного промышленного предприятия. В противном случае промышленное предприятие может потерять свою конкурентоспособность, так как продукция его конкурентов станет более ликвидной. Поэтому на сегодняшний день ни одно промышленное предприятие не может себе позволить пренебречь вопросами своего стратегического развития и обеспечения конкурентоспособности своей продукции на отечественном и мировом рынках.

Кроме того, в современных условиях ведения бизнеса, характеризующихся резким обострением глобальной нестабильности, антироссийской санкционной политикой Запада по отношению к отечественным промышленным предприятиям и стране в целом, нарастающим военно-политическим, информационным, экономическим давлением на нашу страну со стороны США, стран блока НАТО и их союзников и т. п., акционеры и руководители российских производственных компаний должны отчетливо понимать значимость воздействия подобных факторов на их бизнес.

В этой связи руководители российских промышленных предприятий кроме сложившихся у них традиционных представлений об экономике и финансах производственных компаний, современной логистике, основах создания и развития информационно-компьютерных сетей и систем предприятий, методах и моделях управления различного рода ресурсами и другими сферами внутрифирменной деятельности должны сконцентрировать свои руководящие установки и воздействия на анализе динамики и учете сложившихся и вновь возникающих тенденций в международной финансово-экономической аналитике, оценке возрастания влияния внешних воздействий на деятельность собственных предприятий, а также возможностях использования наиболее эффективных стратегических и оперативных подходов, методов и математических моделей, которые могли бы способствовать повышению эффективности их деятельности вкупе с новейшими технологиями по развитию информационных систем и методами цифровизации.

Разумеется, что для различных промышленных предприятий, к тому же работающих в разнообразных отраслях промышленности нашей страны, избранные стратегии долгосрочного и оперативного управления будут некоторым образом отличаться между собой. Однако их ключевые императивы не могут не быть близки по своей сути и составу к сформированным основным научно-техническим положениям.

Таким образом, основные приоритеты по формированию концептуальной основы стратегического и оперативного управления промышленными предприятиями должны быть сформулированы с учетом представленных соображений и включать в себя методологически целостный алгоритм подготовки и принятия управленческих решений, связанных как с формированием стратегии управления промышленным предприятием, так и оперативного управления его работой.

Если еще в совсем недавнем прошлом управление промышленными предприятиями могло осуществляться на основе широко известных теоретических разработок конца XX – начала XXI вв. [1, 2, 12, 14], то события недавнего времени, связанные с усилением военно-политической, социальной и экономической напряженности в мире и т. п., привели к тому, что сегодня для сохранения своей конкурентоспособности отечественным компаниям необходимы новые адекватные подходы, методы и математические модели стратегического и оперативного управления. Авторам такие разработки удалось осуществить. Создан новый адаптивный подход к стратегическому и оперативному управлению промышленными предприятиями [9, 10, 18, 20].

Сущность данного адаптивного подхода к стратегическому и оперативному управлению промышленными предприятиями состоит в том, что вся подготовка и принятие управленческих решений по формированию стратегии и тактики управления промышленными предприятиями основывается на учете динамично меняющихся ситуаций и факторов внешней среды, воздействующих на предприятия. При этом особое внимание уделяется факторам косвенного воздействия на промышленные предприятия, так как они в условиях глобальной нестабильности влияют на работу промышленных предприятий гораздо более значительно, чем внешние факторы прямого воздействия. При оперативном управлении промышленными предприятиями должна быть учтена также все более ускоряющаяся динамика положения дел на международных и внутренних рынках готовой продукции, что может быть сделано только с использованием разработанного авто-

рами прогнозно-адаптивного подхода [10, 18]. Подобный подход позволяет посредством получения краткосрочных (иногда даже ежедневных) прогнозов ситуаций на мировых рынках корректировать планы производства продукции предприятий, отвечающих запросам этих рынков.

Таким образом, современный подход к стратегическому развитию и оперативному управлению промышленными предприятиями должен обеспечивать взаимосвязь этих двух, иногда кажущихся на первый взгляд отличными друг от друга, процессов. Тем не менее именно в процессе управления промышленными предприятиями создается прибыль и становится понятным, какие стратегические аспекты наиболее важны для компании в ее конкурентной борьбе на международных рынках как в ближайшем, так и в отдаленном будущем.

Поскольку промышленные предприятия должны совершенствовать свои производственные, управленческие, информационные и иные технологии, то средства на это не могут появиться иначе как из тех доходов, которые промышленное предприятие получает в процессе своей текущей производственной деятельности [21, 27, 28]. Капитальные вложения на эти технологии и планируемые эксплуатационные затраты на них не должны выходить за рамки тех возможностей, которые собственники промышленного предприятия могут выделить на эти цели из прибыли компании. С другой стороны, промышленные предприятия обязаны совершенствовать имеющиеся у них технологии охраны защиты окружающей среды, и эти средства также могут быть взяты только из прибыли, получаемой промышленным предприятием.

Поэтому в своих стратегических расчетах главные акционеры и топ-менеджеры промышленных предприятий должны четко определить, какие средства могут быть израсходованы на техническое перевооружение промышленного предприятия, а какие – на защиту окружающей среды от его выбросов. Это соотношение, в сущности, определяет основной стратегический императив каждого конкретного промышленного предприятия. При этом совершенствование технологий на промышленных предприятиях должно осуществляться более или менее комплексно. Если использовать для этой цели адаптивный подход, то управление развитием промышленных предприятий и корпораций должно учитывать, что все имеющиеся на предприятии технологии (производственные, информационные, экономические, управленческие и иные) не могут развиваться без какого-либо учета взаимосвязей между собой. Гипертрофированное развитие какой-либо одной из технологий на предприятии, несмотря на различные затраты, связанные с этим развитием, может не дать существенного экономического эффекта и даже в отдельных случаях может привести к отрицательному результату.

Например, неразумно заниматься цифровизацией производств, в то время как логистика и экономика компании, а также система выработки и принятия управленческих решений остаются на допотопном уровне. А поскольку при этом решаются, как правило, многокритериальные задачи, то тогда необходимо воспользоваться принципом Парето, согласно которому оптимизация по каждому следующему критерию не должна ухудшать состояние объекта (или компании), достигнутое при оптимизации по предшествующим критериям. Управление развитием технологий компании должно осуществляться абсолютно аналогично. В этом случае затраты, которые будут нести промышленные предприятия на развитие соответствующих технологий, будут давать более эффективные результаты и не заставят руководителей компаний сожалеть о том, что они, понеся серьезные затраты на развитие отдельных технологий, не получили желаемого выигрыша для компании в целом. Эти соображения также полностью соответствуют известному постулату о том, что глобальный оптимум системы не может быть равен сумме ее локальных оптимумов [18]. На основе представленного подхода сформирована методология стратегического и оперативного управления производственными компаниями, базирующаяся на комплексах соответствующих методов и математических моделей.

Формирование стратегических приоритетов промышленных предприятий должно осуществляться с учетом представленных далее положений.

Достижение целей и задач промышленного предприятия в процессе управления его производственной деятельностью как в долгосрочном, так и в оперативном режимах должно всегда оставаться его главным приоритетом вне зависимости от каких-либо попыток изменить эти цели и задачи в сиюминутных, зачастую плохо обоснованных интересах.

Состав концептуальных положений по стратегическому и оперативному управлению промышленным предприятием, а также используемые для этого математические методы и модели

должны в полной мере учитывать динамику происходящих во внешней среде изменений, а также сложившиеся и формируемые тренды как глобального, так и отраслевого масштабов, возникающие как ответные реакции на видоизменения упомянутой динамики.

Отсюда вполне ясно, что применяемый в управлении промышленными предприятиями состав умных механизмов и математических моделей должен способствовать выработке управленческих решений, которые будут направлены на повышение эффективности деятельности промышленных предприятий и обеспечение конкурентоспособности выпускаемой ими продукции в рамках избранных руководством компаний стратегических приоритетов.

При этом совершенствование применяемых умных механизмов, а также методов и алгоритмов подготовки принятия решений на промышленном предприятии должно иметь возможность корректироваться в зависимости от происходящих во внешней по отношению к промышленному предприятию среде, а также учитывать динамику развития самой производственной компании.

Руководство промышленных предприятий на основе советующих механизмов умного управления, используемых в работе, должно иметь возможность оценки эффективности своей работы, а также формировать прогнозы дальнейшего развития своих компаний.

Соответственно, система подготовки принятия управленческих решений промышленных предприятий должна обладать способностью оценивать состав и качество используемых математических моделей в управлении компанией, предлагать руководству состав и содержание актуальных механизмов и моделей умного управления, совершенствовать систему подготовки и принятия управленческих решений и уровня их обоснованности.

Примерный состав математических моделей в системе умного управления промышленным предприятием может включать в себя в области стратегического управления следующие модели [9, 18, 20]:

- интегральная оценка деятельности промышленного предприятия;
- управление материальными ресурсами промышленного предприятия при обеспечении его экономических и экологических приоритетов;
- оптимизация доставки грузов от производителей сырья;
- развитие промышленного предприятия на новых территориях;
- повышение эффективности управления человеческими ресурсами на предприятиях за счет совершенствования систем оплаты труда и стимулирования работников;
- формирование производственного плана промышленного предприятия по выпуску продукции;
- планирование профилактического обслуживания основных производственных фондов промышленного предприятия и др.

Процесс оперативного управления промышленным предприятием целесообразно осуществлять с использованием модели, разработанной авторами прогнозно-адаптивного подхода [9, 18, 20]. Пример подобной модели, адаптированной для предприятий по производству ферросплавов, подробно описан в [10, 18].

Таким образом, топ-менеджеры промышленных предприятий нашей страны в процессе формирования стратегий умного управления своими производственными компаниями должны в обязательном порядке осуществлять следующее:

- рассмотреть, насколько человеческие ресурсы промышленного предприятия по своему составу и структуре способны обеспечить решение задач как оперативного, так и стратегического управления компанией;
- проанализировать систему умных методов и технологий выработки управленческих решений на промышленном предприятии, включая производственную логистику, вопросы управления материальными и иными ресурсами, развитие клиентской базы и др.;
- совершенствовать качество управления проектами на промышленном предприятии в рамках избранных стратегических приоритетов;
- исследовать возможности и целесообразность технологического обновления промышленным предприятием на основе соотнесения прибыли, которые можно будет получить в результате перехода на новые технологические уклады с возникающими при этом затратами и рисками;
- особое внимание уделить развитию информационно-компьютерной инфраструктуры управления промышленным предприятием на базе современных методов цифровизации и мате-

математического моделирования производственных процессов, совершенствования средств и методов обработки данных и др.;

– принять все необходимые меры по обеспечению позитивной динамики технико-экономических показателей функционирования промышленного предприятия. В случае если эта динамика не соответствует интересам руководства компании, то необходимо произвести корректировку всего перечня описанных мероприятий.

Заключение

Развитие умных технологий в управлении регионами Российской Федерации в условиях противостояния разнообразным усилиям стран Запада, включающим различные военно-политические, экономические, информационные и иные мероприятия, должно быть нацелено на обеспечение достойного ответа нашей страны всем указанным прояскам.

В этой связи формирование стратегии умного управления для субъектов Российской Федерации целесообразно осуществлять в соответствии с комплексом научных положений, методов и алгоритмов, представленных в п. 1. Особое значение при этом должно быть уделено тому, насколько те или иные идеи и разработки по умному управлению регионами могут быть использованы в рамках рассматриваемого субъекта РФ, а также составу и содержанию специфических задач по умному управлению конкретным регионом.

Представленные в данной статье материалы, выводы и соображения позволяют также сформировать основные приоритеты по развитию стратегического управления промышленными предприятиями, дают возможность собственникам и руководителям этих предприятий увидеть процессы создания перспективных стратегий их развития во взаимосвязи с решением задач в рамках текущей деятельности компаний.

Таким образом, подготовку и принятие решений по управлению промышленными предприятиями как на стратегическом, так и на оперативном уровне становится возможным осуществлять на основе целостного алгоритма, базирующегося на разработанном авторами комплексе моделей и методов стратегического и оперативного управления промышленными предприятиями. В результате использования методов, моделей и механизмов повышения эффективности работы промышленных предприятий в конкретных регионах появляется возможность улучшить показатели их функционирования на базе комплекса умных технологий.

Список литературы

1. Аакер Д. Стратегическое рыночное управление. СПб.: Питер, 2002. 544 с.
2. Акофф Р.Л. Планирование будущего корпорации. М.: Сирин, 2002. 256 с.
3. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / под ред. Д.А. Новикова. М.: Книжный дом «Либроком», 2009. 264 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М.: Высшая школа, 2008. 208 с.
5. Воробьева О.В., Манжула Е.А., Яшина А.В. Умный горожанин в умном городе: обзор подходов в России и за рубежом // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7, № 5. С. 59–65.
6. Ганин О.Б., Ганин И.О. «Умный город»: перспективы и тенденции развития // ARS Administrandi. 2014. № 1. С. 124–135.
7. Глазьев С.Ю. Приоритеты опережающего развития российской экономики в условиях смены технологических укладов // Экономическое возрождение России. 2019. № 2 (60). С. 12–16.
8. Ерохина О.В. Перспективы создания «умных городов» в России // Т-сomm: телекоммуникация и транспорт. 2018. Т. 12, № 4. С. 17–22. DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10060
9. Эффективное управление организационными и производственными структурами: моногр. / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, О.И. Дранко и др. М.: ИНФРА-М, 2020. 456 с. DOI: 10.12737/1087996
10. Максимов А.А., Коренная К.А., Логиновский О.В. Адаптивное управление промышленной корпорацией в условиях неопределенности (на примере ферросплавных производств) // Проблемы теории и практики управления. 2012. № 9–10. С. 145–150.

11. Методические рекомендации по подготовке регионального проекта «Умные города». URL: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/620/Metodicheskie-rekomendatsii.docx>.
12. Burkov V.N., Shepkin A.V. Control Mechanisms for Ecological-Economic Systems. Berlin: Springer, 2015. 174 p.
13. The mechanisms of smart management for industrial enterprises / V.N. Burkov, O.V. Loginovskiy, O.I. Dranko, A.V. Hollay // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. No. 1. P. 56–73. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.1.04
14. Introduction to Theory of Control in Organizations / V. Burkov, M. Goubko, N. Korgin, D. Novikov. London: CRC Press, 2015. 346 p.
15. Cocchia A. Smart and Digital city: A Systematic Literature Review. How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Berlin: Springer, 2014.
16. Dameri R.P., Cocchia A. Smart City and Digital City: Twenty Years of Terminology Evolution // X Conference of the Italian Chapter of AIS, ITAIS 2013. Università Commerciale Luigi Bocconi, Milan (Italy), 2013. P. 1–8. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Smart-City-and-Digital-City%3A-Twenty-Years-of-Dameri-Cocchia/c6b562b4aeb53c6a07c5ac4487d964aad06c8cf9>.
17. Smart Cities: Ranking of European Medium Sized Cities / R. Giffinger, C. Fertner, H. Kramar et al. Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF). Vienna University of Technology, 2007. P. 1–12. URL: http://www.smart-cities.eu/download/city_ranking_final.pdf.
18. Управление промышленными предприятиями: стратегии, механизмы, системы / О.В. Логиновский, А.А. Максимов, В.Н. Бурков и др. М.: ИНФРА-М, 2018. 410 с.
19. Стратегическое и оперативное управление промышленными предприятиями: учеб. пособие / О.В. Логиновский, А.В. Голлай, О.И. Дранко, А.Л. Шестаков. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2021. 325 с.
20. Global Economic Instability and Management of Industrial Organisation / К.А. Коренная, О.В. Loginovskiy, А.А. Maksimov, А.В. Zimin. Ed. А.Л. Shestakov. Kostanay: KSU, 2014. 230 p.
21. Modern Information Technologies and the Need for Improving the Quality of Organizational and Corporate Structures' Management / А.Л. Shestakov, О.В. Loginovskiy, А.А. Maksimov, А.В. Hollay // Proceedings – 2020. Global Smart Industry Conference, GloSIC-2020. 2020, P. 127–131. DOI: 10.1109/GloSIC50886.2020.9267861
22. Коренная К.А., Голлай А.В., Логиновский О.В. Модели управления промышленными предприятиями в условиях нестабильности внешней среды и необходимости технологического перевооружения // Проблемы управления. 2021. № 4. С. 40–49. DOI: 10.25728/ru.2021.4.4
23. Управление промышленным предприятием в условиях глобальной нестабильности: моногр. / К.А. Коренная, О.В. Логиновский, А.А. Максимов, А.Л. Шестаков. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. 403 с.
24. Логиновский О.В., Козлов А.С. Информационные системы в государственном управлении: моногр. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. 456 с.
25. Логиновский О.В., Козлов А.С. Математические модели в государственном управлении и исследовании страновой и цивилизационной динамики: моногр. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2012. 324 с.
26. Коренная К.А., Логиновский О.В., Максимов А.А. Интегрированные информационные системы промышленных предприятий: моногр. Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2012. 315 с.
27. Loginovskiy O.V., Shestakov A.L., Shinkarev A.A. Supercomputing technologies as drive for development of enterprise information systems and digital economy // Supercomputing Frontiers and Innovations. 2020. No. 7 (1). P. 55–70. DOI: 10.14529/jsfi200103
28. Loginovskiy O.V., Dranko O.I., Hollay A.V. Mathematical Models for Decision-Making on Strategic Management of Industrial Enterprise in Conditions of Instability // CEUR Workshop Proceedings. Leipzig, 2018. Vol. 2093. P. 1–12.

References

1. Aaker D. *Strategicheskoye rynochnoye upravleniye* [Strategic market management]. St. Petersburg: Piter; 2002. 544 p. (In Russ.)
2. Akoff R.L. *Planirovaniye budushchego korporatsii* [Planning for the future of the corporation]. Moscow: Sirin; 2002. 256 p. (In Russ.)

3. Burkov V.N., Korgin N.A., Novikov D.A. *Vvedeniye v teoriyu upravleniya organizatsionnyimi sistemami* [Introduction to the Theory of Management of Organizational Systems]. Moscow: Librokom; 2009. 264 p. (In Russ.)
4. Wentzel E.S. *Issledovaniye operatsiy: zadachi, printsipy, metodologiya* [Operations research: tasks, principles, methodology]. Moscow: Vysshaya shkola; 2008. 208 p. (In Russ.)
5. Vorobeva O.V., Manzhula E.A., Yashina A.V. Smart citizen in a smart city: review of Russian and international approaches. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019;7(5):59–65. (In Russ.)
6. Ganin O.B., Ganin I.O. “Smart City”: Prospects and Development Trends. *ARS Administrandi*. 2014;(1):124–135. (In Russ.)
7. Glazev S.Y. Priorities of the Russian economy’s accelerated development during the transition to a new technological mode. *Economic revival of Russia*. 2019;2(60):12–16. (In Russ.)
8. Erokhina O.V. [Prospects for the creation of «smart cities» in Russia]. *T-comm: telecommunications and transport*. 2018;12(4):17–22. (In Russ.) DOI: 10.24411/2072-8735-2018-10060
9. Loginovskiy O.V., Gollay A.V., Dranko O.I., Shestakov A.L., Shinkarev A.A. The effective management of organizational and production structures: monograph. Moscow: INFRA-M; 2020. 456 p. (In Russ.) DOI: [10.12737/1087996](https://doi.org/10.12737/1087996)
10. Maksimov A.A., Korennaya K.A., Loginovsky O.V. Adaptive management of industrial corporation in the face of uncertainty (the case of ferroalloy productions). *Problems of theory and practice of management*. 2012;(9–10):145–150. (In Russ.)
11. *Metodicheskiye rekomendatsii po podgotovke regional'nogo proyekta “Umnyye goroda”* [Guidelines for the preparation of the regional project “Smart Cities”]. Available at: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/620/Metodicheskie-rekomendatsii.docx>. (In Russ.)
12. Burkov V.N., Shepkin A.V. *Control Mechanisms for Ecological-Economic Systems*. Berlin: Springer; 2015. 174 p.
13. Burkov V.N., Loginovskiy O.V., Dranko O.I., Hollay A.V. The mechanisms of smart management for industrial enterprises. *Applied mathematics and management issues*. 2020;(1):56–73. DOI: 10.15593/2499-9873/2020.1.04
14. Burkov V., Goubko M., Korgin N., Novikov D. *Introduction to Theory of Control in Organizations*. London: CRC Press; 2015. 346 p.
15. Cocchia A. *Smart and Digital city: A Systematic Literature Review. How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space*. Berlin: Springer; 2014.
16. Dameri R.P., Cocchia A. Smart City and Digital City: Twenty Years of Terminology Evolution. In: *X Conference of the Italian Chapter of AIS, ITAIS 2013. Università Commerciale Luigi Bocconi, Milan (Italy)*; 2013. P. 1–8. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Smart-City-and-Digital-City%3A-Twenty-Years-of-Dameri-Cocchia/c6b562b4aeb53c6a07c5ac4487d964aad06c8cf9>.
17. Giffinger, R., Fertner C., Kramar H., Kalasek R. et al. *Smart Cities: Ranking of European Medium Sized Cities*. Vienna, Austria: Centre of Regional Science (SRF). Vienna University of Technology; 2007. P. 1–12. Available at: http://www.smart-cities.eu/download/city_ranking_final.pdf.
18. Loginovskiy O.V., Maksimov A.A., Burkov V.N. et al. *Upravleniye promyshlennymi predpriyatiyami: strategii, mekhanizmy, sistemy* [Industrial Enterprise Management: Strategies, Mechanisms, Systems: monograph]. Moscow: INFRA-M; 2018. 410 p. (In Russ.)
19. Loginovskiy O.V., Gollay A.V., Dranko O.I., Shestakov A.L. *Strategicheskoye i operativnoye upravleniye promyshlennymi predpriyatiyami: ucheb. posobiye* [Strategic and operational management of industrial enterprises: textbook]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2021. 325 p. (In Russ.)
20. Korennaya K.A., Loginovskiy O.V., Maksimov A.A., Zimin A.V.; Ed. Shestakov A.L. *Global Economic Instability and Management of Industrial Organisation*. Kostanay: KSU; 2014. 230 p.
21. Shestakov A.L., Loginovskiy O.V., Maksimov A.A., Hollay A.V. Modern Information Technologies and the Need for Improving the Quality of Organizational and Corporate Structures' Management. In: *Proceedings 2020. Global Smart Industry Conference, GloSIC-2020*; 2020. P. 127–131. DOI: 10.1109/GloSIC50886.2020.9267861
22. Korennaya K.A., Hollay A.V., Loginovskiy O.V. Models of managing industrial enterprises under an unstable environment and technological re-equipment. *Control Sciences*. 2021;(4):40–49. (In Russ.) DOI: 10.25728/pu.2021.4.4

23. Korennaya K.A., Loginovskiy O.V., Maksimov A.A., Shestakov A.L. *Upravleniye promyshlennym predpriyatiyem v usloviyakh global'noy nestabil'nosti: monogr.* [Management of an industrial enterprise in conditions of global instability: monograph]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2013. 403 p. (In Russ.)

24. Loginovskiy O.V., Kozlov A.S. *Informatsionnyye sistemy v gosudarstvennom upravlenii: monogr.* [Information systems in public administration: monograph]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2013. 456 p. (In Russ.)

25. Loginovskiy O.V., Kozlov A.S. *Matematicheskiye modeli v gosudarstvennom upravlenii i issledovanii stranovoy i tsivilizatsionnoy dinamiki: monogr.* [Mathematical models in public administration and the study of country and civilizational dynamics: monograph]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2012. 324 p. (In Russ.)

26. Korennaya K. A., Loginovskiy O.V., Maksimov A.A. *Integrirrovannyye informatsionnyye sistemy promyshlennykh predpriyatiy: monogr.* [Integrated information systems of industrial enterprises: monograph]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2012. 315 p. (In Russ.)

27. Loginovskiy O.V., Shestakov A.L., Shinkarev A.A. Supercomputing technologies as drive for development of enterprise information systems and digital economy. *Supercomputing Frontiers and Innovations*. 2020;7(1):55–70. DOI: 10.14529/jsfi200103

28. Loginovskiy O.V., Dranko O.I., Hollay A.V. Mathematical Models for Decision-Making on Strategic Management of Industrial Enterprise in Conditions of Instability. In: *CEUR Workshop Proceedings*. Leipzig; 2018. Vol. 2093. P. 1–12.

Информация об авторах

Логиновский Олег Витальевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; loginovskii@usu.ru.

Голлай Александр Владимирович, д-р техн. наук, доцент, директор Высшей школы электроники и компьютерных наук, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; alexander@hollay.ru.

Шестаков Александр Леонидович, д-р техн. наук, проф., ректор, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; a.l.shestakov@usu.ru.

Коренная Кристина Александровна, канд. техн. наук, генеральный директор, Кузнецкие ферросплавы, Новокузнецк, Россия; kkris221@mail.ru.

Information about the authors

Oleg V. Loginovskiy, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of Department of Informational and Analytical Support of Control in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; loginovskii@usu.ru.

Alexander V. Hollay, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Director of the Higher School of Electronics and Computer Science, South Ural State University, Chelyabinsk; Russia; alexander@hollay.ru.

Aleksandr L. Shestakov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Rector, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; a.l.shestakov@usu.ru.

Kristina A. Korennaya, Cand. Sci. (Eng.), General Director, Kuznetsk Ferroalloys, Novokuznetsk, Russia; kkris221@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 31.05.2022

The article was submitted 31.05.2022

УПРАВЛЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫМ РАЗВИТИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ «ОТРАСЛЬ – ПРЕДПРИЯТИЕ»

О.И. Дранко¹, olegdranko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4664-1335>

С.М. Окладников²

Е.В. Благодарный³, blagodarny@phystech.edu, <https://orcid.org/0000-0002-8993-1682>

¹ Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия

² Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия

³ Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

Аннотация. Рост экономики страны, основным из индикаторов которого является увеличение валового внутреннего продукта, является одной из основных целей Российской Федерации. Для достижения такой цели необходимо определение управляющих факторов, вносящих вклад в такой рост, и модельных взаимосвязей между ними. Подход анализа по отдельным уровням управления (по сути – подход «черного ящика») следует заменить декомпозицией системы на ее элементы по уровням: страна (показатель – валовой внутренний продукт), регион (показатель – валовой региональный продукт), предприятие (показатель – выручка, добавленная стоимость). **Цель исследования:** анализ экономики Российской Федерации как совокупности ее регионов, отраслей и предприятий; рассмотрение примеров возможностей роста; демонстрация отдельных примеров, способствующих принятию управленческих решений. Выявление зависимостей между динамикой показателей страны и регионов и показателями предприятий. Анализ возможностей роста экономики модельного региона и оценка ресурсных потребностей для обеспечения роста. **Материалы и методы.** Математическое моделирование и статистические методы анализа экономических показателей. Постановка оптимизационных задач. Регрессионные модели для определения зависимостей между экономическими показателями. Идентификация параметров модели. Использование методов обработки больших данных. **Результаты.** Поставлена задача роста валового регионального продукта. Построена математическая модель связи валового регионального продукта, выручки отраслей и выручки отдельных предприятий. Рассмотрен пример модельного региона на примере Челябинской области и модельной отрасли на примере обрабатывающих производств. Подтверждена статистически значимая зависимость выручки и валовой добавленной стоимости модельной отрасли модельного региона. Построена регрессионная модель взаимосвязи вклада отрасли в прирост валового регионального продукта, определены ее параметры и произведена укрупненная оценка требуемых для роста инвестиций. **Заключение.** Разработана комплексная модель, увязывающая показатели валового внутреннего продукта, валового регионального продукта, выручку отрасли и совокупную выручку организаций отрасли. Проведенный анализ экономики как совокупности отдельных элементов демонстрирует значимость предприятий отрасли как базового элемента формирования ее роста.

Ключевые слова: управление, математическое моделирование, регрессионные модели, региональное развитие, развитие предприятий, большие данные

Для цитирования: Дранко О.И., Окладников С.М., Благодарный Е.В. Управление региональным развитием с использованием двухуровневой модели «отрасль – предприятие» // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 93–105. DOI: 10.14529/ctcr220309

Original article
DOI: 10.14529/ctcr220309

REGIONAL DEVELOPMENT MANAGEMENT WITH TWO-LEVEL “INDUSTRY – ORGANIZATION” SUPPORT MODEL

O.I. Dranko¹, olegdranko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4664-1335>

S.M. Okladnikov²

E.V. Blagodarnyj³, blagodarny@phystech.edu, <https://orcid.org/0000-0002-8993-1682>

¹ V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia

³ Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Moscow, Russia

Abstract. The growth of the country’s economy, which is commonly indicated by the increase of GDP, is a primary goal of the Russian Federation. To achieve said goal, it is required to identify control factors contributing to the growth and model relationship between them. The approach of analysis by separate levels of management (in fact, the “black box” approach) should be replaced by the decomposition of the system into its elements by levels: country (indicator – gross domestic product), region (indicator – gross regional product), enterprise (indicator – revenue, value added). **Purpose of the study.** The analysis of the economy of the Russian Federation as an aggregate of its regions, industries and organizations; growth opportunities examples review; introduction of selected cases that facilitate managerial decision-making. Identification of dependencies between the dynamics of indicators of the country and regions and indicators of enterprises. Analysis of growth opportunities for the economy of the model region and assessment of resource needs to ensure growth. **Materials and methods.** Mathematical modelling and statistical methods for the analysis of economic indicators. Formulation of optimization problems. Regression models for determining dependencies between economic indicators. Application of Big Data processing methods. **Results.** The problem of gross regional product growth was formulated. The mathematical model of the relation of gross regional product, industry revenue and selected organization's revenues was developed. The example of the model region is considered on the example of the Chelyabinsk region and the model industry on the example of manufacture. Statistically significant dependence of revenue and Value Added was confirmed by the example of model industry and model region. The regression model for sector contribution to gross regional product was developed and its parameters determined. A rough estimation of the required investments for growth is provided. **Conclusion.** A comprehensive model linking GDP, gross regional product, industry revenue and aggregate companies’ revenue in an industry was developed. Conducted analysis of the economy as an aggregate of its elements indicates the importance of industry companies as a fundamental growth-generating unit.

Keywords: management, mathematical modelling, regional development, organization development, regression models, big data

For citation: Dranko O.I., Okladnikov S.M., Blagodarnyj E.V. Regional development management with two-level “industry – organization” support model. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(3):93–105. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220309

Введение

В 2003 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин поставил задачу удвоения ВВП России¹. И до кризиса 2008 г. Россия «шла по этому пути». Среднегодовые темпы роста ВВП в ценах 2008 г. в 2003–2008 гг. составляли 7,1 % по среднеарифметическому среднему, 6,99 % – по среднегеометрическому среднему по расчетам авторов на основании данных Росстата². На горизонте 10 лет увеличение ВВП составило бы 96 % – рост фактически в 2 раза.

¹ Послание Федеральному Собранию Российской Федерации, 16 мая 2003 года. URL: <http://kremlin.ru/events/president/transcripts/21998> (дата обращения: 09.06.2022).

² Валовой внутренний продукт. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/VVP_god_s_1995.xls (дата обращения: 09.06.2022).

Для 2000-х гг. для России это был рост «с низкой базы». Дальнейший рост возможен с более низкими темпами.

Задача данной работы – проанализировать возможности роста экономики страны как совокупности ее регионов, отраслей, рассмотрев отдельные примеры последних.

Традиционно показатель «валовой региональный продукт» (ВРП) рассматривается в качестве одного из основных показателей экономического развития региона.

Показатель ВРП не является единственным показателем экономического развития региона. В Указе Президента Российской Федерации от 04.02.2021 № 68 «Об оценке эффективности деятельности высших должностных лиц (руководителей высших исполнительных органов государственной власти) субъектов Российской Федерации и деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации»³ перечислены и иные показатели экономической активности в регионе, связанные с уровнем бедности, ростом реальной среднемесячной заработной платы, ростом физического объема инвестиций в основной капитал, численностью занятых в сфере малого и среднего предпринимательства. Ряд показателей косвенно свидетельствует об экономическом развитии региона благодаря возможности населения активно участвовать в культурных мероприятиях, занятиях физкультурой и спортом, возможности улучшить жилищные условия и построить/купить жилье. Исследование связи обозначенных показателей с ВРП выходит за рамки настоящей работы и может являться предметом отдельных публикаций.

1. Задача роста экономики страны

Одним из основных макроэкономических показателей, характеризующих экономику страны, является ВВП, который в общих чертах представляет собой суммарную валовую добавленную стоимость (ВДС), которая, в свою очередь, имеет существенную корреляцию с выручкой, как показано в данной работе. Экономика страны представляет собой совокупность ее отраслей, то есть, учитывая указанные взаимосвязи ВВП, НДС и выручки, увеличение выручки отраслей приводит к улучшению ВВП. Также деление можно производить не только по критерию отрасли, но и по региону, причем рассматривая страну как совокупность ее регионов, так и детализируя отрасли по конкретным регионам.

Последующим уровнем детализации является рассмотрение отдельных организаций. Именно организация является базовой единицей, генерирующей НДС. Развитие организации, увеличение ее выручки (и в некоторых случаях увеличение числа организаций, генерирующих выручку) – основная причина роста ВВП страны. Рост экономики страны, представляемый в виде ВВП, является следствием роста базовых единиц – конкретных организаций. Рост базовой единицы, конкретной организации, приводит как к развитию отрасли (доли в ВВП/ВРП), так и к увеличению ВРП и ВВП в целом.

Подход анализа по отдельным уровням управления (по сути – подход «черного ящика») следует заменить декомпозицией системы на ее элементы по уровням: страна (показатель – валовой внутренний продукт), регион (показатель – валовой региональный продукт), предприятие (показатель – выручка, добавленная стоимость).

Выделяются три метода расчета валового внутреннего продукта (ВВП)⁴:

- производственный метод;
- метод использования доходов;
- метод формирования по источникам доходов.

Некоторые авторы [1] рассматривают ВВП с двух принципиальных, верхнеуровневых, точек зрения: дохода и производства. В соответствии со взглядом на ВВП с точки зрения производства, ВВП представляется как стоимость произведенных за определенный промежуток времени конечных товаров и услуг. Определив, что является промежуточным продуктом или услугой, а что конечным, и просуммировав последнее, можно получить примерное значение ВВП. Однако такая трактовка наталкивает на определение структуры ВВП как суммы добавленной стоимости в экономике в течение заданного периода времени [1], где добавленная стоимость, создаваемая орга-

³ Указ Президента РФ от 04.02.2021 № 68. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102040027> (дата обращения: 09.06.2022).

⁴ Валовой внутренний продукт, понятия и определения. URL: [http://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/mN5tLwhA/Понятия и определения \(ВВП\).pdf](http://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/mN5tLwhA/Понятия%20и%20определения%20(ВВП).pdf) (дата обращения: 09.06.2022).

низацией, определяется как стоимость произведенного за вычетом промежуточных товаров и услуг, использованных при производстве.

Федеральная служба государственной статистики в рамках производственного метода приравнивает ВВП к сумме ВДС отраслей или институциональных секторов за минусом чистых налогов на продукты, причем ВДС считается в основных ценах⁵ и где чистые налоги на продукты рассматриваются в соответствии с Приказом Росстата России от 17.12.2021 № 926 «Об утверждении Официальной статистической методологии расчета показателя «Чистые налоги на продукты»⁶. Относительно же уровня погрешности в оценке ВВП приводится уровень в 5 %, что сопоставимо с темпами роста ВВП [2].

2. Вклад в ВВП предприятия и отрасли: обзор

Пример вклада в ВВП отдельных предприятий приведен в работе [3]. Авторами оценен вклад Московского авиационного узла (МАУ) в ВВП РФ в 2017 г. Для оценки, авторами использована методика в рамках общих положений методологии Oxford Economics⁷, учитывая специфику объекта и среды. Как утверждается, оценить вклад, вносимый в экономику, можно, рассчитав добавленную стоимость, создаваемую всеми основными элементами, которую авторы называют прямым вкладом в валовый внутренний продукт. При этом ВДС приравнивается к сумме таких элементов, как прибыль до налогообложения, заработная плата, амортизация, арендные платежи за использование государственного имущества, налоговые платежи. В работе [3] отсутствует указание связей показателей со строками бухгалтерской отчетности, что делает невозможным повторение подобного исследования на основании основополагающих, унифицированных документов из открытых данных с получением того же результата. Отмечается, что «все необходимые данные для расчета показателя содержатся в финансовых отчетностях предприятий, однако они представлены в неявном виде» [4, 5].

Стоит отметить, что структура затрат на производство по конкретному предприятию находилась в открытом доступе в Приложении № 5 к балансу (отчету). К сожалению, строки Приложения не типизированы, и в текущий момент данная форма отсутствует в открытых данных. Так или иначе, такая структура затрат на производство является сравнительно наиболее актуальной и достоверной и включает в себя: материальные затраты, расходы на оплату труда, отчисления на социальные нужды, амортизацию, прочие затраты, итого по элементам.

Несмотря на наличие примеров расчета вклада в ВВП, формируемого отдельным предприятием либо несколькими отдельными предприятиями в рамках демонстрации производственного метода [1, 4], подобные расчеты на реальных данных в научной литературе не получили значительного освещения. Производимая организациями добавленная стоимость обладает аналитическим значением, однако вся ее детализация сводится к двум альтернативным вариантам: либо ВРП, либо разделы Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД) без какой-либо дальнейшей детализации [5]. Примером рассмотрения ВРП может служить работа [6], автор которой в дополнение к прогнозированию ВРП региона на примере г. Москвы сопоставляет прогнозные данные с фактическими и проводит анализ причин расхождений.

Отсутствие прямых общедоступных источников информации по статьям расходов для определения ВДС делает невозможным использование описанного в [3] подхода в массовом порядке.

3. Модель связи ВВП, ВРП, ДС и выручки предприятий

Показатели ВВП, ВДС отраслей, ВРП регионов, добавленная стоимость (ДС) Отрасли/Региона, выручка Отрасли/Региона и выручка предприятий Отрасли/Региона взаимосвязаны между собой. При этом для ДС Отрасли/Региона, выручки Отрасли/Региона и выручки предприятий Отрасли/Региона информация доступна в таких источниках, как Росстат, Единая межведом-

⁵ Валовый внутренний продукт, понятия и определения. URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/mN5tLwhA/Понятия и определения \(ВВП\).pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/mN5tLwhA/Понятия%20и%20определения%20(ВВП).pdf) (дата обращения: 09.06.2022).

⁶ Приказ Росстата России от 17.12.2021 № 926. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/met926_17122021.pdf (дата обращения: 09.06.2022).

⁷ IATA. Oxford Economics. Economic Benefits from Air Transport in the US. URL: <https://www.iata.org/policy/Documents/Benefits-of-Aviation-US-2011.pdf> (дата обращения: 09.06.2022).

ственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) и Финансовая отчетность соответственно. Общая схема взаимосвязи рассматриваемых показателей проиллюстрирована на рис. 1.

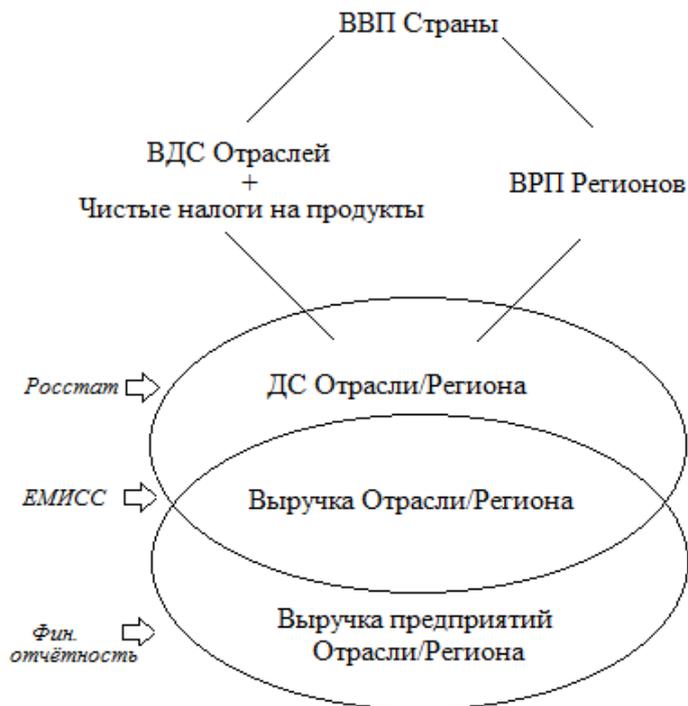


Рис. 1. Общая схема связи показателей
Fig. 1. Outline diagram of the relationship of the indicators

Сумма ВДС отраслей региона приравнивается к ВРП региона. Связь величины добавленной стоимости региона и результатов отдельных отраслей можно установить следующими соотношениями:

$$GRP = VA = \sum_j VA_j, \quad (1)$$

где GRP – ВРП (Gross Regional Product); VA_j – валовая добавленная стоимость (Value Added) отдельной отрасли; j – индекс отрасли.

Связь величины добавленной стоимости отрасли региона и результатов отдельных предприятий можно установить следующими соотношениями:

$$VA_j = \sum_i VA_{ji}, \quad (2)$$

где VA_{ji} – добавленная стоимость отдельного предприятия; i – индекс предприятия.

Сложность применения формулы (2) заключается в отсутствии информации о добавленной стоимости отдельного предприятия, как отмечено ранее в работе. Поэтому рассмотрим вариант связи добавленной стоимости региона не с добавленной стоимостью отдельных организаций, а с их выручкой как с показателем, более обеспеченным информацией:

$$VA_j = k_{VA,j} \cdot R_j + \varepsilon_j, \quad (3)$$

где R – выручка; $k_{VA,j}$ – коэффициент добавленной стоимости в выручке; ε – погрешность.

Величина $k_{VA,j}$ может быть определена регрессионными зависимостями по фактическим данным прошлых периодов. Таким образом, сложность получения информации о добавленной стоимости отдельных предприятий заменим на задачу определения средних коэффициентов добавленной стоимости в выручке по отрасли. При этом предполагается, что в рамках отрасли коэффициенты добавленной стоимости отдельных предприятий с аналогичными технологиями и структурой затрат находятся в некоторой окрестности средних коэффициентов отрасли. То есть

$$VA_j = \sum_i VA_{ji} = \sum_i K_{VA,ji} \cdot R_{ji} = k_{VA,j} \cdot R_j + \varepsilon_j. \quad (4)$$

Суммарная выручка региона является суммой выручек отдельных организаций региона с группировкой по отраслям:

$$R_j = \sum_i R_{ji}, \quad j = 1, \dots, J_l, \quad (5)$$

где i – индекс предприятия в отрасли l ; J_l – количество организаций в отрасли l .

При этом сложным является отнесение деятельности организации к отдельной отрасли и региону, так как для многих организаций характерным является проведение операций в различных регионах и отраслях. Текущим решением вопроса группировки отдельных организаций региона по отраслям является определение вида деятельности, приносящего организации наибольшую выручку относительно прочих, и последующее включение выручки от прочих видов деятельности в выручку от преобладающего. Такой подход приносит некоторые погрешности, но при относительной простоте применения и фактическом отсутствии информации о выручке предприятий по различным видам деятельности является уместным к применению. Вопрос возможности более детальной детализации выручки организации по отдельным составляющим и отдельный учет выходит за рамки настоящей работы, представляя собой область для дальнейших исследований.

Развитие предприятий требует дополнительных ресурсов. В качестве ресурсов можно рассматривать инвестиции, кадры, новые технологии, возможно, новые месторождения полезных ископаемых, земельные ресурсы и другие. В рамках линейной модели связь роста предприятия и ресурсов можно записать в виде

$$B_{kji} = a_{kji} \cdot R_{ji}, \quad (6)$$

где B – потребности в ресурсе k -го вида; a_{ki} – удельный расход ресурса k -го вида на прирост выручки i -го предприятия; ΔR_i – прирост выручки; j – индекс отрасли.

Отметим, что постановка задачи (6) не учитывает мероприятия по повышению операционной и инвестиционной эффективности организаций. Такие мероприятия приводят к уменьшению удельных расходов ресурсов и их необходимо вводить в контур моделирования и управления при последующей детализации модели.

Таким образом, задачу максимизации ВРП можно записать в виде

$$\begin{aligned} GRP &= \sum_j \sum_i k_{VA,ji} \cdot R_{ji} \rightarrow \max, \\ \sum_j \sum_i a_{kji} \cdot \Delta R_{ji} &< B_k^*, \end{aligned} \quad (7)$$

где B_k^* – ограничение k -го вида ресурса.

4. Модельные расчеты

В работе [7] приведены данные по ВДС и выручке за период с 1995 по 2003 г. на примере всей экономики с выделением отрасли машиностроения. На их основании можно рассчитать, что за указанный период:

- средняя доля ВДС в выручке по России составила 51 % со стандартным отклонением 1 %;
- средняя доля ВДС в выручке по Машиностроению и металлообработке составила 37 % со стандартным отклонением 3,2 %;
- средняя доля ВДС в выручке по Промышленности составила 38 % со стандартным отклонением 2,1 %.

С отменой действия ОКВЭД-1 с 01.01.2017 г. и переходом на ОКВЭД-2 претерпели изменения классификационные признаки. Более того, некоторые авторы [8] отмечают вызванную переходом на ОКВЭД-2 сложность проведения статистических и аналитических работ. Следствием введения ОКВЭД-2 явилось нарушение преемственности рядов данных до 2016 г. и с 2017 г.

В рамках данной работы для иллюстрации в целях проводимого анализа выберем одну модельную отрасль – «Обрабатывающие производства».

Ниже рассмотрена доля ВДС в выручке по виду экономической деятельности «Обрабатывающие производства» за период с 2017 по 2020 г. для всех организаций России (табл. 1 и рис. 2).

Выручка и ВДС, обрабатывающие производства за 2017–2020 гг., млрд руб.

Таблица 1

Table 1

Revenue and Value Added, manufacturing activity, 2017–2020, bn RUB

Обрабатывающие производства	2017	2018	2019	2020
Выручка	42 524	50 118	51 750	51 677
ВДС	11 308	13 315	14 215	14 415
Доля ВДС в выручке	26,59 %	26,57 %	27,47 %	27,89 %

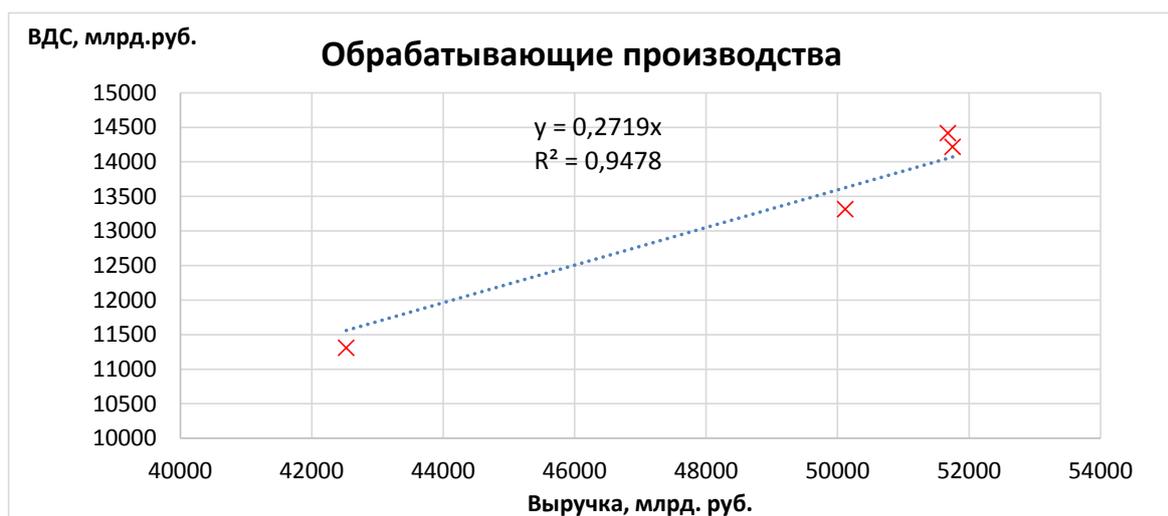


Рис. 2. Зависимость ВДС и выручки обрабатывающих производств России, 2017–2020 гг.

Fig. 2. Correlation between Value Added and revenue of the manufacturing activity of Russia, 2017–2020

Средняя доля ВДС в выручке по обрабатывающим производствам за 2017–2020 гг. составляет 27,1 % со стандартным отклонением 0,6 % (см. табл. 1). Показатель R^2 для данной зависимости составляет 0,9478, статистика Фишера $F = 61,11$. Несмотря на небольшое количество данных, линейную зависимость можно признать статистически значимой с $\alpha = 1,6$ %.

И данные работы [7], и табл. 1 свидетельствуют о том, что значение стандартного отклонения является сравнительно низким. Таким образом, можно говорить, что использование средних показателей долей ВДС в выручке по видам деятельности, рассчитанных на основании данных предшествующих периодов, уместно для применения в моделях экспресс-оценки.

5. Результаты расчетов на примере региона

Взаимосвязь ВДС и выручки отдельной отрасли продемонстрируем на примере данных модельной отрасли. В качестве выборки рассмотрен полный круг организаций. Данные о выручке представлены сервисом государственной статистики ЕМИСС⁸.

В качестве периода анализа рассмотрим 2004–2015 гг. С введением ОКВЭД-2 в 2016 г. временные ряды слишком коротки для проведения анализа. Зависимость ВРП выбранного региона от выручки показана на рис. 3. Значение коэффициента R^2 составляет 0,9491. Значение статистики Фишера $F = 195$, линейная регрессия статистически значима для $\alpha = 1$ %.

Данные ЕМИСС по отрасли обрабатывающих производств по выборке «Крупные и средние организации с численностью работников свыше 15 человек» приведены в табл. 2.

⁸ Выручка (нетто) от продажи товаров, продукции, работ, услуг (за минусом налога на добавленную стоимость, акцизов и иных аналогичных обязательных платежей) по данным бухгалтерской отчетности по 2016 г. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/37184> (дата обращения: 30.05.2022).

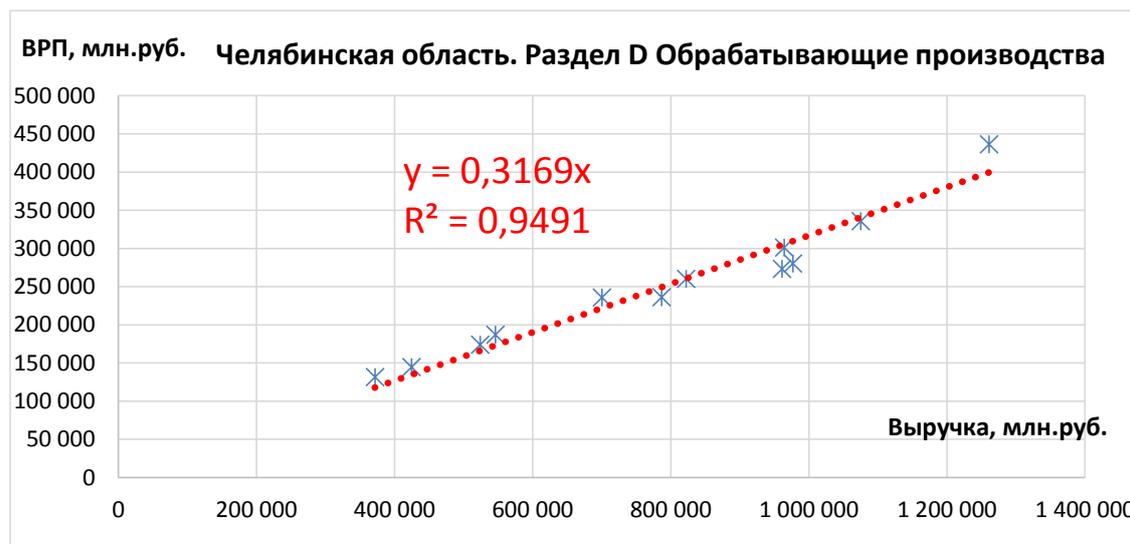


Рис. 3. Зависимость ВРП от выручки обрабатывающих производств региона
Fig. 3. Correlation between Gross Regional Product and revenue of the manufacturing activity of the region

Данные ЕМИСС по обрабатывающим производствам региона, млрд руб.

Таблица 2

Table 2

EMISS data on manufacturing activity of the region, bn RUB

Показатель	2017	2018	2019	2020
ВДС, Обрабатывающие производства	480,2	520,3	498,3	491,0
Выручка, Обрабатывающие производства	1311,8	1435,6	1308,2	1326,6

6. Декомпозиция до отдельных организаций

Показав статистически значимую корреляцию ВДС, лежащей в основе ВРП, ВВП, и выручки, в целях детализации необходимо проведение декомпозиции до уровня отдельной организации. В качестве источников используются открытые данные по финансовой отчетности, предоставляемые Росстатом за период 2013–2018 гг., и данные ФНС за 2019–2021 гг. по отдельным организациям, сервис «Государственный информационный ресурс бухгалтерской отчетности» (ГИРБО)^{9, 10}.

Данные по отдельным организациям представляют собой огромный массив, выгрузка которого целиком либо его части требует определенных компетенций и навыков (например, программирование на языке Python), временных затрат на выгрузку, вычислительных мощностей и возможности обработки данных в выгруженном формате, что существенно затрудняет работу с большими массивами.

В качестве примера модельного региона авторами настоящей работы рассматривается Челябинская область. Фокус работы на одной области в противовес рассмотрению множества сделан по причине того, что рассмотрение большего количества требует нетабличных методов визуализации данных для анализа, о чем свидетельствует работа [9]. В этой работе был обработан большой массив данных информации с привязкой к ВРП различных регионов и отраслей, и сделано заключение, что представление значительного объема информации в табличном виде трудно к восприятию и затрудняет принятие управленческих решений. Причем некоторыми авторами [10] отмечается, что и визуализация с исходными данными могут иметь фрустрирующую роль в процессе принятия решений, а большие данные в определенных случаях малополезны, так как срав-

⁹ Государственный информационный ресурс бухгалтерской отчетности. - URL: <https://www.nalog.gov.ru/rn77/bo/>. Дата обращения 10.06.2022. (дата обращения: 30.05.2022).

¹⁰ Государственный информационный ресурс бухгалтерской (финансовой) информации. - URL: <https://bo.nalog.ru/>. Дата обращения 10.06.2022.

нительно низкие показатели точности или полноты поиска информации требуют от человека изучения чрезвычайно большого объема предоставленной ему информации.

Для Челябинской области выявлено 130 крупных и средних организаций обрабатывающей промышленности с выручкой более 1000 млн руб. в 2017–2021 гг.

В табл. 3 приведено сопоставление информации о выручке по данным ЕМИСС по крупным и средним организациям Челябинской области и суммарной выручке по финансовой отчетности отдельных организаций. Однако по части организаций отчетность не представлена в открытых данных и общие итоги могут быть не полностью сопоставимы.

Выручка обрабатывающих производств региона, млрд руб.

Таблица 3

Manufacturing activity revenue of the region, bn RUB

Table 3

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
Выручка, данные ЕМИСС, Обрабатывающие производства	1311,8	1435,6	1308,2	1326,6	Нет данных
Выручка суммарная по финансовой отчетности, 130 организаций	1213,0	1346,5	1263,6	1178,8	1792,6

В табл. 4 приведена информация по выборке 130 крупных и средних организаций обрабатывающей промышленности Челябинской области.

Выручка выборки организаций Челябинской области, млрд руб.

Таблица 4

Revenue of the set of the Chelyabinsk region organizations, billion RUB

Table 4

Наименование	2017	2018	2019	2020	2021
Итого	1213,0	1346,5	1263,6	1178,8	1792,6
ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»	392,8	458,2	434,9	400,2	786,0
ПАО «Челябинский металлургический комбинат»	118,6	124,4	113,0	114,0	176,8
ПАО «Челябинский трубопрокатный завод»	116,1	127,0	139,2	91,8	114,4
АО «Челябинский электрометаллургический комбинат»	49,6	60,1	55,6	49,0	72,5
ООО «Челябинский завод по производству коксохимической продукции»	33,3	31,1	27,6	24,0	49,5
АО «Кыштымский медеэлектролитный завод»	11,7	13,3	12,8	14,6	41,9
ПАО «Ашинский металлургический завод»	22,4	26,1	26,9	24,4	39,8
ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-Метиз»	20,5	23,1	23,7	20,9	34,6
ООО «Группа «Магнезит»	21,4	26,7	27,0	22,4	26,8
АО «Макфа»	15,4	15,2	17,9	20,8	22,2
ПАО «Челябинский кузнечно-прессовый завод»	7,2	8,9	10,9	11,2	15,5
ПАО «Уральская кузница»	12,7	16,5	17,2	10,2	15,0
ООО «Объединенная сервисная компания»	12,5	12,7	13,1	14,0	14,9
ОАО «Хлебпром»	10,5	11,4	11,4	10,3	13,2
АО «Саткинский чугуноплавильный завод»	6,5	9,7	8,3	7,6	11,6
ООО «Уральская металлообрабатывающая компания»	5,2	6,1	5,6	6,7	11,6
АО «Карабашмедь»	11,8	8,8	10,1	9,9	11,2
ООО «Ресурс»	4,4	5,2	7,0	8,9	10,1

7. Ресурсные ограничения для роста

Выделим из множества ресурсных ограничений одно из наиболее существенных – инвестиции. Оценку необходимых инвестиционных ресурсов проведем по регрессионной модели зависимости инвестиционного капитала от выручки. На рис. 4 показана зависимость инвестированного капитала от выручки по выборке организаций обрабатывающей промышленности. Усредненный коэффициент прироста инвестированного капитала к приросту выручки составляет $a_{1,3} = 0,33$, где 1 – индекс ресурсов «инвестиции», 3 – индекс отрасли (вида деятельности «С. Обрабатывающие производства»).

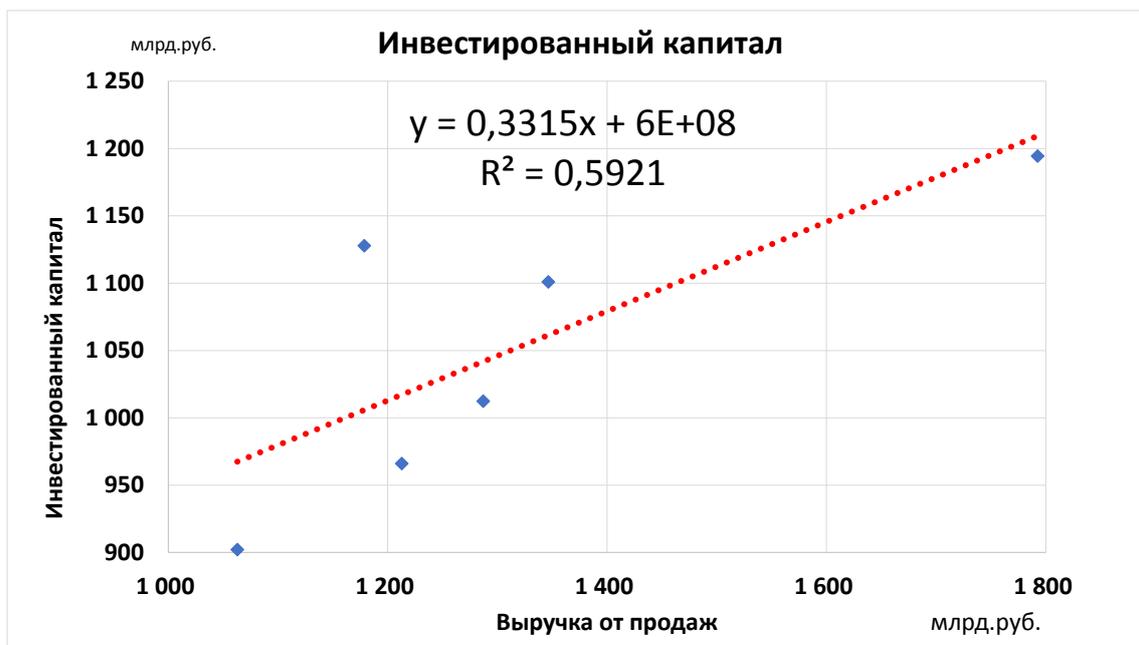


Рис. 4. Зависимость инвестированного капитала от выручки
Fig. 4. Correlation between invested capital and revenue

Если рассмотреть задачу удвоения ВРП в текущих ценах при сохранении отраслевой структуры ВРП, выручка крупных и средних организаций модельной отрасли должна увеличиться с 1800 млрд руб. до 3600 млрд руб., и это потребует инвестиций около 600 млрд руб.

Более общая задача ускоренного развития регионов освещалась в работах [11–14]. Механизмы удвоения ВВП (и ВРП соответственно) рассматривались в [13]. Интерес для будущих исследований представляет анализ воздействия мер по поддержке бизнеса, предпринятых региональным и федеральным правительством [15].

Отметим, что оценка срока удвоения ВРП в условиях существенных геополитических изменений требует отдельных исследований.

Заключение

В работе рассмотрена задача роста валового регионального продукта.

Сформулирована математическая модель взаимосвязи ВРП, выручки отраслей и выручки отдельных предприятий. В качестве основного «производящего» звена рассматривается организация промышленности.

Подтверждена статистическая зависимость между выручкой и валовой добавленной стоимостью. Увеличение показателя ВДС, привносимой по отдельному виду деятельности или совокупности видов деятельности, можно достигнуть, увеличивая выручку отрасли или совокупности отраслей соответственно.

В рамках методов обработки больших массивов открытых данных показана взаимосвязь выручки отрасли по данным Росстата и суммарной выручки организаций.

В качестве модельного региона и отрасли для расчетов рассматривалась Челябинская область и отрасль «Обрабатывающие производства».

Определены параметры регрессионной модели взаимосвязи вклада в прирост ВРП прироста выручки модельной отрасли и проведена укрупненная оценка необходимых инвестиционных ресурсов.

Рассмотренная модель может быть адаптирована для укрупненной оценки на другие показатели социально-экономического развития, ESG развитие, анализ последствий внешних шоков и воздействий и т. п.

Список литературы

1. Blanchard O. *Macroeconomics*. 8th ed. Global Edition., Pearson, 2021. 577 p.
2. Лызлов Д.В. Преимущества и недостатки ВВП как показателя социально-экономического развития страны // *Российский внешнеэкономический вестник*. 2009. № 2. С. 32–40.
3. Фридлянд А.А., Кулешова Ю.Л. Методология оценки и расчет экономического вклада гражданской авиации в ВВП России на примере деятельности аэропортов московского авиационного узла // *Научный вестник ГосНИИ ГА*. 2019. № 25. С. 41–51.
4. Абрютин М.С. Добавленная стоимость и прибыль в системе микро- и макроанализа финансово-экономической деятельности // *Финансовый менеджмент*. 2002. № 1. С. 17–24.
5. Шишелов М.А. Оценка эффективности лесопромышленного комплекса на основе расчета показателя добавленной стоимости (на примере Республики Коми) // *Проблемы прогнозирования*. 2017. № 3. С. 52–61.
6. Pashchenko A. Analysis of the Quality of Predictive Models of Macroeconomic Parameters of Moscow for the Period of 10 years // 13th International Conference “Management of large-scale system development” (MLSD’2020). Moscow, IEEE, 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/MLSD49919.2020.9247637
7. Веселая Л.С. Анализ вклада машиностроения в формирование ВВП России // *Мир экономики и управления. Вестник НГУ. Серия: Социально-экономические науки*. 2006. Т. 6, № 2. С. 29–36.
8. Тебекин А.В. Дисбаланс формы и содержания статистической отчетности (о переходе с ОКВЭД на ОКВЭД-2) // *Журнал экономических исследований*. 2016. Т. 5, № 5. С. 103–109.
9. Visual modeling in an analysis of multidimensional data / A.A. Zakharova, E.V. Vekhter, A.V. Shklyar, A.J. Pak // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018, Vol. 944. P. 1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012127
10. Райков А.Н. Визуальная аналитика электронного правительства для стратегического и территориального планирования // *Информационное общество*. 2017. № 2. С. 60–70.
11. Логиновский О.В., Золотых С.А., Халдин А.С. Формирование стратегии социально-экономического развития субъекта РФ в современных условиях // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*. 2020. Т. 20, № 3. С. 96–103. DOI: 10.14529/ctcr200310
12. Дранко О.И., Приказчиков С.А. Подход к повышению эффективности управления экономическим развитием регионов России на примере Челябинской области // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*. 2020. Т. 20, № 2. С. 93–104. DOI: 10.14529/ctcr200209
13. Ириков В.А., Новиков Д.А., Тренев В.Н. Целостная система государственно-частного управления инновационным развитием как средство удвоения темпов выхода России из кризиса и посткризисного роста. – М.: ИПУ РАН, 2009. 220 с.
14. Переход региона на инновационное развитие: пример проекта системы управления инновационным развитием Владимирской области / В.Н. Бурков, А.В. Боровкова и др.; под ред. В.А. Ирикова. М.: ИПУ РАН, 2011. 126 с.
15. Дранко О.И. Многоуровневая система моделирования доходов регионального бюджета в условиях коронакризиса // *Труды 13-й Международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD’2020)*. 2020. С. 30–36. DOI: 10.25728/mlsd.2020.0030

References

1. Blanchard O. *Macroeconomics*. 8th ed., Global Edition, Pearson; 2021. 577 p.
2. Lyzlov D.V. Advantages and disadvantages of GDP as an indicator of the country's socio-economic development. *Russian Foreign Economic Journal*. 2009;(2):32–40. (In Russ.)
3. Fridlyand A.A., Kuleshova Yu.L. The evaluation and calculation methodology of the contribution the Moscow aviation hub airports activities in Russia's GDP. *Scientific Bulletin of the State Scientific Research Institute of Civil Aviation*. 2019;(25):41–51. (In Russ.)
4. Abryutina M.S. Value added and profit in the system of micro- and macro-analysis of financial and economic activity. *Financial management*. 2002;(1):17–24. (In Russ.)
5. Shishelov M.A. Assessing the efficiency of the forest industry complex based on calculation of Value Added Index (based on the example of the Republic of Komi). *Studies on Russian Economic Development*. 2017;28(3):278–285. (In Russ.)
6. Pashchenko A. Analysis of the Quality of Predictive Models of Macroeconomic Parameters of Moscow for the Period of 10 years. In: *13th International Conference "Management of large-scale system development" (MLSD)*; 2020. P. 1–5. DOI: 10.1109/MLSD49919.2020.9247637
7. Veselaya L.S. Analysis of the contribution of mechanical engineering to the formation of Russia's GDP. *World of Economics and Management. NSU Bulletin. Series: Social and Economics Sciences*. 2006;6(2):29–36. (In Russ.)
8. Tebekin A. Imbalance of the form and content of statistical reporting (on the transition from OKVED to OKVED-2). *Journal of economic studies*. 2019;5(5):103–109. (In Russ.)
9. Zakharova A.A., Vekhter E.V., Shklyar A.V., Pak A.J. Visual modeling in an analysis of multidimensional data. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018;944:1–5. DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012127
10. Raikov A.N. E-government visual analytics for strategic and territorial planning. *Information Society*. 2017;(2):60–70. (In Russ.)
11. Loginovskiy O.V., Zolotykh S.A., Khaldin A.S. Formation of the Strategy of Socio-Economic Development of the Subject of Russian Federation in Modern Conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2020;20(3):96–103. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200310
12. Dranko O.I., Prikazchikov S.A. Approach to Improving the Effectiveness of Managing the Economic Development of the Regions of Russia on the Example of the Chelyabinsk Region. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2020;20(2):93–104. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200209
13. Irikov V.A., Novikov D.A., Trenev V.N. *A Holistic System of Public-Private Management of Innovative Development as Means of Doubling the Pace of Russia's Exit from the Crisis and Post-Crisis Growth*. Moscow: Publishing House of the Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences; 2009. 220 p. (In Russ.)
14. Burkov V.N., Borovkova A.V. et al.; Ed. Irikov V.A. Transition of a region to innovative development: an example of a project for a management system for innovative development of the Vladimir region. Moscow: Publishing House of the Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences; 2011. 126 p. (In Russ.)
15. Dranko O.I. A Multilevel System for Modeling Regional Budget Revenues in the Context of a Coronavirus Crisis. In: *Proceedings of the 13th International Conference "Managing the Development of Large-Scale Systems" (MLSD'2020)*. Moscow: ICS RAS; 2020. P. 30–36. (In Russ.) DOI: 10.25728/mlsd.2020.0030

Информация об авторах

Дранко Олег Иванович, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия; olegdranko@gmail.com.

Окладников Сергей Михайлович, канд. техн. наук, Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия.

Благодарный Евгений Владимирович, аспирант, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия; blagodarny@phystech.edu.

Information about the authors

Oleg I. Dranko, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; olegdranko@gmail.com.

Sergey M. Okladnikov, Cand. Sci. (Eng.), Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russia.

Evgeniy V. Blagodarnyj, Postgraduate Student, Moscow Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Moscow, Russia; blagodarny@phystech.edu.

Статья поступила в редакцию 17.06.2022

The article was submitted 17.06.2022

АЛГОРИТМ И МЕТОДЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ЛАТЕНТНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В УСЛОВИЯХ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

С.А. Баркалов¹, barkalov@vgasu.vrn.ru
А.В. Ананьев², sasha303_75@mail.ru
К.С. Иванников³, ivannikov_ks@radar-mms.com
С.И. Моисеев¹, mail@moiseevs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6136-9763>

¹ Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

² АО «Научно-производственное предприятие «Полет», Нижний Новгород, Россия

³ АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В работе описывается алгоритм и методы принятия и реализации решения в условиях динамически меняющихся внешних и внутренних факторов, влияющих на результат принятия решений. Основную роль в данном алгоритме играет этап оценки привлекательности альтернатив и, как следствие, выбор из них наиболее привлекательной. Основной проблемой для решения данной задачи является выбор лучшей альтернативы в условиях неопределенности, когда не имеется никакой информации о возможных сценариях развития ситуации. Для решения этой проблемы в работе предлагается применить модель Раша оценки латентных переменных, которая позволяет не только получать оценки альтернатив по линейной шкале, но и оценить чувствительности альтернатив к возможным сценариям, которые имеют смысл риска потерь для каждой альтернативы при неожиданном наступлении сценариев, влекущих тяжелые последствия. Также приведены результаты моделирования процесса уточнения данных для принятия решений на основе нестационарных марковских случайных процессов. **Цель исследования** заключается в разработке алгоритма и динамической модели принятия решений, учитывающей ситуационное управление рисками, которая основана на теории латентных переменных и нестационарных марковских случайных процессов. **Материалы и методы.** Для обоснования алгоритма процесса принятия решений используется математическая модель оценки привлекательности альтернатив, основанная на модели Раша оценки латентных переменных. Для обоснования результатов оценивания были проведены вычислительные эксперименты, которые обосновали адекватность полученных оценок. Кроме того, для подтверждения возможности применения алгоритма принятия решений, который предполагает применение итераций для сбора информации, проведено математическое моделирование процесса принятия решений, которое показало для условных сценариев высокую вероятность успешного завершения процесса в заданные сроки. **Результаты.** На основе представленного в работе алгоритма принятия решений в условиях ограниченного времени затронут вопрос расчета весов альтернатив в условиях неопределенности с учетом динамически меняющихся внешних и внутренних условий. Описан оригинальный метод получения оценок привлекательности альтернатив в условиях неопределенности, который учитывает чувствительность альтернатив к возможным сценариям развития ситуации. Для качественного анализа результатов при принятии решений в соответствии с разработанным алгоритмом была приведена модель динамического контроля вероятности принятия решений в заданные сроки. С использованием нестационарных марковских случайных процессов появилась возможность оценить успешность принятия решений за отведенное время и рассчитать количество циклов, необходимых для уточнения исходных данных. **Заключение.** Благодаря использованию модели Раша оценки латентных переменных появилась возможность оценивать не только степень привлекательности альтернатив, но и производить оценку чувствительности, что позволяет получать дополнительную информацию о влиянии внешних условий на «масштаб последствий событий» по результатам принятия решений. Предлагаемый метод обработки поступающей информации, полученной на каждом этапе принятия решений, позволит получать максимально объективные оценки альтернатив и может быть использован как математический аппарат для систем поддержки принятия решений во многих сферах научной и практической деятельности.

Ключевые слова: принятие решений, альтернативы, условия неопределенности, латентные переменные, модель Раша, марковские процессы

Для цитирования: Алгоритм и методы принятия управленческих решений на основе теории латентных переменных в условиях временных ограничений / С.А. Баркалов, А.В. Ананьев, К.С. Иванников, С.И. Моисеев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 106–116. DOI: 10.14529/ctcr220310

Original article

DOI: 10.14529/ctcr220310

ALGORITHM AND METHODS FOR MANAGEMENT DECISION-MAKING BASED ON THE THEORY OF LATENT VARIABLES UNDER TIME CONDITIONS

S.A. Barkalov¹, barkalov@vgasu.vrn.ru

A.V. Ananiev², sasha303_75@mail.ru

K.S. Ivannikov³, ivannikov_ks@radar-mms.com

S.I. Moiseev¹, mail@moiseevs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6136-9763>

¹ Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

² JSC Research and Production Enterprise "Polet", Nizhny Novgorod, Russia

³ JSC Research and Production Enterprise "Radar mms", St. Petersburg, Russia

Abstract. The paper describes a decision-making algorithm under conditions of dynamically changing external and internal factors that affect the result of decision-making. The main role in this algorithm is played by the stage of assessing the attractiveness of alternatives and, as a result, choosing the most attractive of them. The main problem for solving this problem is the choice of the best alternative under conditions of uncertainty, when there is no information about possible scenarios for the development of the situation. To solve this problem, the paper proposes to apply the Rasch model of estimating latent variables, which allows not only to obtain estimates of alternatives on a linear scale, but also to obtain estimates of the sensitivity of alternatives to possible scenarios that make sense of the risk of loss for each alternative in case of an unexpected change in the scenario of the development of the situation. The results of modeling the process of data refinement for decision-making based on non-stationary Markov random processes are also presented. **Aim.** The purpose of the study is to develop an algorithm and a dynamic decision-making model that takes into account situational risk management, which is based on the theory of latent variables and non-stationary Markov random processes. **Materials and methods.** To substantiate the algorithm of the decision-making process, there is a mathematical model for assessing the attractiveness of alternatives, based on the Rasch model for assessing latent variables. To substantiate the evaluation results, computational experiments were carried out, which substantiated the adequacy of the obtained estimates. In addition, to confirm the possibility of using a decision-making algorithm, which involves the use of iterations to collect information, mathematical modeling of the decision-making process was carried out, which showed a high probability of successful completion of the process within the specified time frame. **Results.** On the basis of the decision-making algorithm presented in the paper under conditions of limited time, the issue of calculating the weights of alternatives under conditions of uncertainty, taking into account dynamically changing external and internal conditions, is raised. An original method for obtaining estimates of the attractiveness of alternatives under uncertainty is described, which takes into account the sensitivity of alternatives to possible scenarios for the development of the situation. For a qualitative analysis of the results when making decisions in accordance with the developed algorithm, a model of dynamic control over the probability of making decisions within a given time frame was presented. Using non-stationary Markov random processes, it is possible to evaluate the success of decision-making in the allotted time and calculate the number of cycles required to refine the initial data. **Conclusion.** On the basis of the decision-making algorithm presented in the paper under conditions of limited time, the issue of calculating the weights of alternatives under conditions of uncertainty, taking into account dynamically changing external and internal conditions, is raised. An original method for obtaining estimates of the attractiveness of alternatives under uncertainty is described, which takes into account the sensitivity of alternatives to possible scenarios for the development of the situation. For a qualitative analysis of the results when making decisions in accordance with the developed algorithm, a model of dynamic control over the probability of making decisions within a given time

frame was presented. Using non-stationary Markov random processes, it is possible to evaluate the success of decision-making in the allotted time and calculate the number of cycles required to refine the initial data.

Keywords: decision making, alternatives, uncertainty conditions, latent variables, Rasch model, Markov processes

For citation: Barkalov S.A., Ananiev A.V., Ivannikov K.S., Moiseev S.I. Algorithm and methods for management decision-making based on the theory of latent variables under time conditions. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):106–116. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220310

Введение

Процесс принятия решений – это одно из основных направлений человеческой деятельности, основа развития общества, которая определяет вектор практически всех направлений эволюции человечества. Это дает основание считать, что любые научные исследования в области принятия решений являются актуальными и востребованными, позволяющими внести вклад в теорию управления. Одно из наиболее важных направлений теории принятия решений составляют теоретико-игровые методы. Эти методы служат основой для решения большинства задач, связанных с выбором наиболее рационального варианта действий.

Цели и задачи

Вследствие заметного ускорения всех процессов, смены внешних условий, влияющих на принятие решений в последнее время, особенно актуальным становятся методы и механизмы, позволяющие гибко реагировать на внешние факторы при принятии решений. Сложившаяся ситуация вызывает необходимость в разработке динамических методов, моделей и алгоритмов, учитывающих темп изменения постоянно меняющихся внешних и внутренних условий. Поэтому время на принятие решений всегда ограничено, что крайне необходимо учитывать при планировании и реализации решений.

Целью данной работы является разработка алгоритма и динамической модели принятия решений, учитывающей ситуационное управление рисками, которая основана на теории латентных переменных и нестационарных марковских процессов.

При этом ставятся следующие задачи:

- 1) разработать алгоритм оценки весов или функций полезности альтернатив для выбора наиболее привлекательной с учетом возможной смены внешних условий в условиях ограниченного времени;
- 2) описать модель принятия решений в условиях полной неопределенности на основе модели Раша оценки латентных переменных;
- 3) на основе нестационарных марковских случайных процессов описать функционирование процесса принятия решений во времени.

Алгоритм и этапы принятия решений в условиях ограниченного времени

Принятие управленческих решений (УР) является неотъемлемой частью всех сфер жизнедеятельности человека, что обуславливает постоянный интерес к его совершенствованию. С теоретических позиций процесс принятия УР может быть формализован в виде методик, моделей, алгоритмов, которые в целом формируют некоторые подходы.

В общем случае на основе анализа источников [1–6] можно заключить, что выделяют от трех до пятнадцати этапов процесса разработки и реализации УР в зависимости от желания исследователей достичь определенной степени детализации. В то же время все варианты прежде всего по отношению к сфере экономики можно обобщить пятью условными итерационными этапами и соответствующим им содержанием, изложенными ниже.

Этапы разработки управленческого решения (1–3)

1-й этап выявления (предвидения, планового состояния) проблемной ситуации и постановки цели управленческого решения, по результатам которого ставятся (уточняются) цели и формиру-

ется облик системы критериев оценки результатов решения, в целом формируется стратегия принятия решения.

2-й этап сбора, обобщения, дополнения информации и уяснение ограничений, по результатам которого должно быть изучено существо вопроса и условия эффективности решения.

3-й этап разработки альтернатив решения и выбор рационального варианта, по результатам которого должна быть сформирована совокупность альтернативных вариантов, среди которых необходимо выбрать наилучшую по выбранным критериям, а самое главное, выбор на основе анализа уточнения неопределенности исходных данных (на 2-м этапе), метода (модели) принятия решения.

Этапы реализации управленческого решения (4–5)

4-й этап организации выполнения принятого решения, содержанием которого является оформление решения, разработка плана его реализации, назначение исполнителей и плановый инструктаж.

5-й этап контроля выполнения решения, в ходе которого предупреждаются отклонения от плана реализации УР, а по результатам производится оценка достигнутых результатов.

Традиционно в большинстве стратегий управления решается задача минимизации рисков, или иначе масштаба негативных последствий за счет рационального распределения ресурсов. Такой подход закономерен, так как распределение ресурсов всегда имеет «право на жизнь» как минимум потому, что их всегда не хватает.

Кроме этого, важное значение имеет исходная неопределенность данных, для наиболее жесткого случая заключающаяся фактически в отсутствии данных об обстановке. В этом случае для реализации процедуры выбора альтернатив в работе [7] предложено формирование набора сценариев развития проблемной ситуации, для последующего ранжирования альтернатив с использованием модели Раша оценки латентных переменных.

В результате итераций, количество которых соответствует количеству разработанных сценариев развития проблемной ситуации с использованием методического подхода [7], получается набор решений, среди которых начинает работать «чувствительность» к наиболее худшему случаю, т. е. к максимальному риску.

Таким образом, достижение минимизации риска осуществляется на дискретных этапах управленческого решения, соответствующих этапам разработки управленческого решения (1–3).

Однако здесь налицо противоречие, в сущности, риска негативных последствий: с одной стороны, надо ускорить процесс принятия решения для повышения вероятности своевременности принятия решения, с другой стороны, за счет снижения времени на принятие решения пропорционально снижается качество принятия решения. Соответствующий алгоритм представлен на рис. 1.

Как видно из рис. 1, основным этапом для данного алгоритма является третий, остальные очевидны и обоснованы. На этом этапе встает вопрос, какие модели для оценки привлекательности альтернатив использовать. Выбор зависит от наличия информации. В случае наличия полной информации об обстановке и возможных сценариях развития ситуации рационально использовать методы принятия решений в условиях определенности, которые описаны в работах [1, 8]. В случае частичной информации, когда имеется только вероятностная оценка об обстановке, рационально использовать модели принятия решений в условиях риска, основанные на методе Байеса и построении деревьев решений [1, 9]. Для ситуации, когда информация об окружающей обстановке полностью отсутствует, что характерно для многих процессов в настоящее время, традиционно используются методы Лапласа, Гурвица, Сэвиджа и другие. Но данные методы не в полной мере позволяют оценить масштаб последствий принятия ошибочных решений. Поэтому в данной работе авторами предлагается использовать альтернативный метод, который основан на оценке чувствительности принятого решения к возможным внешним ситуациям, что в свою очередь позволяет вскрыть в условиях полной неопределенности исходных данных наиболее негативные сценарии, несущие максимальный риск [7].

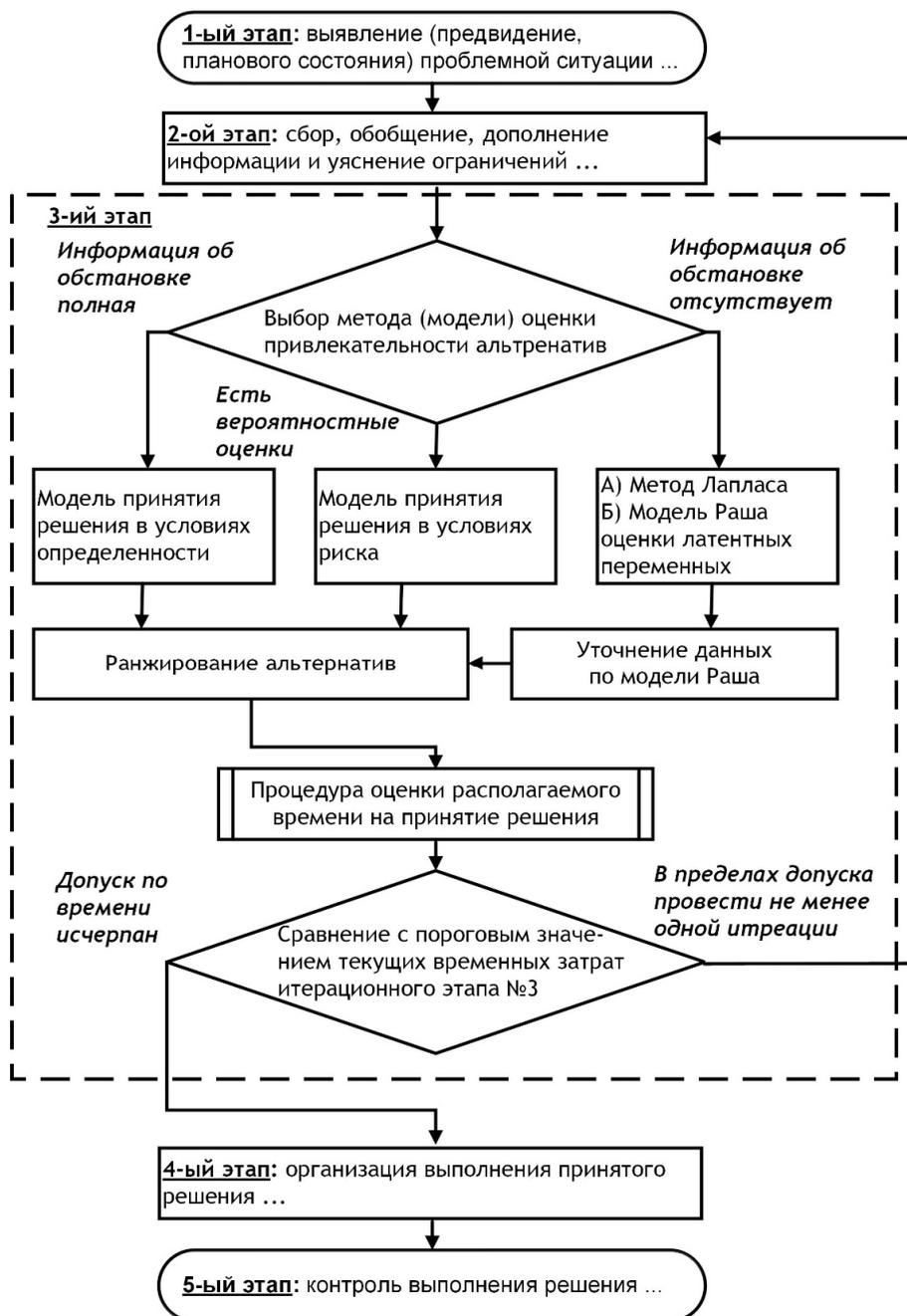


Рис. 1. Алгоритм принятия и реализации управленческого решения в условиях временных ограничений
Fig. 1. Algorithm for making and implementing a managerial decision under time constraints

Модель принятия решений в условиях неопределенности, основанная на модели Раша оценки латентных переменных

Рассмотрим процесс принятия решений, который заключается в выборе одной, наиболее привлекательной альтернативы из M имеющихся. Выбор альтернативы производится на основе того, какой сценарий развития событий будет реализован. Оценки степени привлекательности каждой альтернативы для каждого сценария обозначим через w_{ij} , $i = 1, 2, \dots, M$; $j = 1, 2, \dots, N$. В условиях неопределенности совершенно не известно, какой сценарий развития ситуации будет реализован. Если для выбора лучшей альтернативы использовать метод Лапласа, то из-за отсутствия информации он будет давать оценки, основанные на среднем выигрыше для всех возможных сценариев и не будет учитывать риски, связанные с принятием неправильной альтернативы.

Критерий Сэвиджа [1] эти риски учитывает, но на элементарном уровне возможных потерь от неправильного выбора альтернативы, что явно недостаточно для более глубокого анализа ситуации.

Приведенная модель принятия решений базируется на понятии чувствительности альтернатив к изменению одного сценария на случайный другой, то есть на том, как выбор каждой альтернативы отражается на возможных потерях в ее привлекательности при смене сценария. При этом будем использовать модель Раша оценки латентных переменных [10–12]. Этот выбор связан с тем, что данная модель позволяет получать независимые оценки привлекательности альтернатив и параллельно с этим оценивать чувствительности критериев, причем эти оценки оказываются независимыми от количества и качества альтернатив и набора возможных сценариев развития ситуации, что показано в работе [13].

Другими словами, полученные оценки альтернатив учитывают не только средний выигрыш по всем возможным сценариям, но и то, как случайная смена развития ситуации отразится на среднем риске получить ущерб при неоптимальном выборе альтернативы. Это позволит учитывать особенности планирования стратегии выбора оптимальных решений, а также учитывать внешние и внутренние условия, необходимые для принятия решения.

Предлагаемая модель в качестве критерия для оценки привлекательностей альтернатив в условиях неопределенности будет использовать понятие чувствительности привлекательностей альтернатив к каждому возможному сценарию, который будет показывать, насколько изменятся их оценки при отсутствии информации по отношению к тому, когда информация появится и будет реализована конкретная ситуация. Итоговые оценки должны подбираться так, чтобы появление информации о реализуемой внешней ситуации принесло бы минимальное суммарное изменение оценок привлекательности альтернатив и, соответственно, минимальную коррекцию оценок каждой альтернативы при принятии решений.

Для реализации предложенной идеи расчета итоговых весов предлагается использовать модель Раша оценивания латентных переменных [10], а точнее, ее модификацию, вычислительным инструментом которой является метод наименьших квадратов [11, 12].

В соответствии с данной моделью введем понятие чувствительности $R_j, j = 1, 2, \dots, N$ оценки привлекательности альтернативы к возможному сценарию развития ситуации. Этот показатель оценивает, насколько изменятся итоговые оценки альтернатив, если вероятность реализации данного сценария вырастет и станет больше, чем у остальных сценариев, а в нашей ситуации предполагаем, что из-за отсутствия информации изначально все возможные сценарии W_1, W_2, \dots, W_M развития ситуации равновероятны. Требуется найти итоговую оценку привлекательности альтернатив, наименее чувствительную к изменениям, связанным с реализацией какого-либо сценария при принятии решений.

Согласно модели Раша, для нахождения итоговых показателей привлекательности альтернатив W_1, W_2, \dots, W_M , а также показателей их чувствительности к возможным сценариям развития ситуации $R_j, j = 1, 2, \dots, N$ необходимо решать оптимизационную задачу вида

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left(w_{ij} - \frac{e^{W_i - R_j}}{1 + e^{W_i - R_j}} \right)^2 \rightarrow \min; \quad (1)$$

$$W_i \geq 0; R_j \geq 0; i = 1, 2, \dots, M; j = 1, 2, \dots, N.$$

Таким образом, из решения оптимизационной задачи (1) можно определить не только интегральные оценки привлекательности альтернатив, но и оценки их чувствительности к возможным сценариям на всем их множестве.

Для оценки качества принимаемых решений в соответствии с алгоритмом, изображенным на рис. 1, рационально обозначить некоторый порог допустимой чувствительности, определяемой с использованием теории латентных переменных, которая снижается от итерации к итерации оценки вероятного состояния природы.

Вычислительные эксперименты показали, что оценки альтернатив, полученные по модели Раша, которые учитывают чувствительность экспертных оценок альтернатив к состояниям природы, могут значительно отличаться от оценок, полученных по методу Лапласа принятия решений в условиях неопределенности, причем разница оценок пропорциональна среднеквадратическому отклонению показателей чувствительности по группе всех возможных сценариев. Это го-

ворит о том, что в условиях неопределенности степень корректировки системы управления при появлении информации сильно зависит от однородности воздействия внешних факторов на предметную область при принятии решений. Однако применение модели Раша для оценки весов критериев при неоднородных условиях при принятии решений может в некоторой степени нивелировать воздействие внешней среды и сделать систему поддержки принятия решений более устойчивой к воздействию внешних факторов.

Расчет показателей чувствительности R_j , которые являются некоторыми свойствами возможных ситуаций, реализуемых при принятии решений, и позволят получать дополнительную информацию и корректировать исходные данные. Действительно, при планировании некоторых действий при полной неопределенности необходимо больше внимания уделять тем сценариям, чувствительность которых выше, так как их реализация позволит сильнее изменить первоначальные выигрыши от выбора оптимальных альтернатив.

Отличием алгоритма принятия управленческого решения, представленного на рис. 1, является включение внешней процедуры оценки располагаемого времени на принятие решения. В качестве варианта ее реализации предлагается использовать нестационарные марковские процессы, так как повторение циклов выработки решения ведет к временной задержке их реализации, вследствие чего растет вероятность негативных последствий.

Моделирование процесса уточнения информации на основе марковских случайных процессов

Для моделирования данной ситуации будем использовать теорию случайных процессов [14–16], а с учетом того, что влияние внешних факторов независимое и этих факторов, как правило, большое количество, то согласно работе [14] случайный процесс при моделировании можно считать близким к марковскому, а потоки событий, переводящие систему в новое состояние, будут близкими к потокам Пуассона. Тогда можно считать, что вероятность перехода к этапам реализации управленческого решения P_v как функция от времени t распределена по показательному закону, то есть имеет вид

$$P_v(t) = 1 - \exp(-\lambda t), \quad t \geq 0, \quad (2)$$

где λ – некоторый параметр, характеризующий степень уточнения данных о принятии решений в зависимости от обстановки, который можно интерпретировать как обратное среднее время T_v , необходимое на переход к четвертому этапу реализации принятого решения: $\lambda = 1/T_v$. Таким образом, параметр λ можно интерпретировать как интенсивность потока перехода к реализации решения.

Введем следующие состояния случайного процесса:

S_0 – начало этапа определения альтернатив для начала принятия решения (первые два этапа) и выбор рационального варианта (возможно, после уточнения данных), среднее время нахождения случайного процесса в данном состоянии обозначим через T_0 ;

S_1 – в результате процесса принятия решений информации недостаточно и требуется уточнение данных об обстановке, если позволяет время на принятие решений, среднее время нахождения случайного процесса в данном состоянии, равно среднему времени уточнения данных, которое обозначим через T_1 ;

S_v – в результате анализа внешних или внутренних условий уточнение данных об обстановке в дальнейшем не рационально либо время на принятие решений не позволяет это сделать, в итоге происходит переход к четвертому этапу реализации выполнения принятого решения.

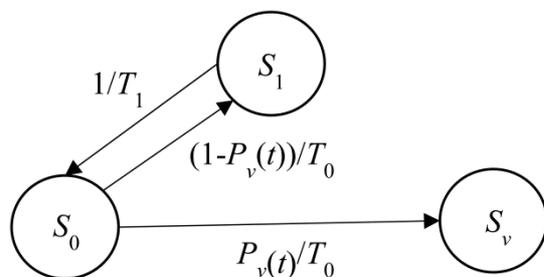


Рис. 2. Граф состояний случайного процесса
Fig. 2. Graph of states of a random process

С учетом этого случайный процесс будет иметь граф состояний, изображенный на рис. 2.

С учетом рис. 2 и соотношения (2) система дифференциальных уравнений Колмогорова для данного случайного процесса будет иметь вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = \frac{P_1(t)}{T_1} - \frac{P_0(t)}{T_0}; \\ \frac{dP_v(t)}{dt} = \frac{(1 - \exp(-\lambda t))P_0(t)}{T_0}; \\ P_1(t) = 1 - P_0(t) - P_v(t); \\ P_0(0) = 1, P_1(0) = P_v(0) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Решение системы дифференциальных уравнений (3) проводилось численными методами, и графики вероятностей состояний как функции от времени приведены на рис. 3.

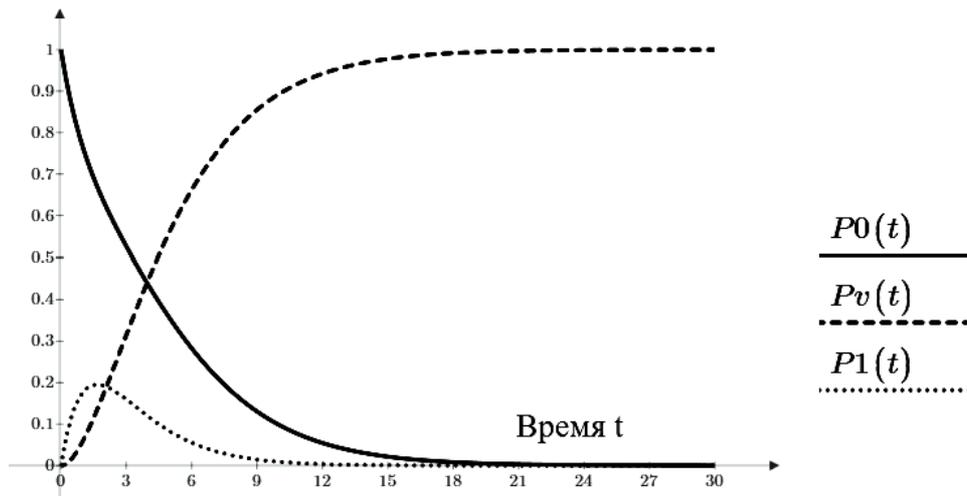


Рис. 3. Временные зависимости вероятностей состояний случайного процесса при параметрах $T_0 = 3, T_1 = 2, \lambda = 0,5$
Fig. 3. Time dependences of the probabilities of states of a random process with parameters $T_0 = 3, T_1 = 2, \lambda = 0.5$

Очевидно, что наиболее интересным с точки зрения описания последовательности этапов алгоритма является состояние S_v , которое соответствует моменту начала реализации принятого решения. Как показал анализ, на вероятность этого состояния $P_v(t)$ достаточно сильное влияние оказывает параметр λ . Графики зависимостей $P_v(t)$ для разных значений параметра λ приведены на рис. 4.

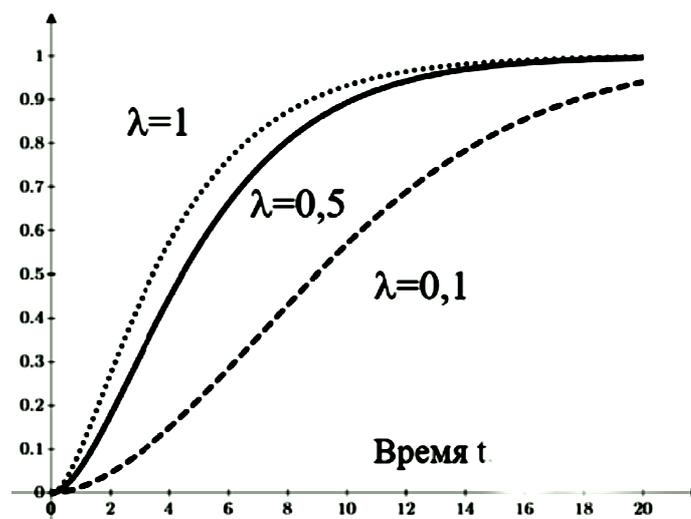


Рис. 4. Временная зависимость вероятности перехода к реализации решения $P_v(t)$ для разных значений параметра λ
Fig. 4. Time dependence of the probability of transition to the implementation of the solution $P_v(t)$ for different values of the parameter λ

Таким образом, как и следовало ожидать, вероятность принять решение в более короткие сроки зависит от времени реализации всех этапов принятия решений и уменьшения их сроков, что позволит увеличить число итераций, связанных с накоплением дополнительной информации, позволяющей принять оптимальное решение.

Заключение

На основе представленного в работе алгоритма принятия решений в условиях ограниченного времени затронут вопрос расчета весов альтернатив в условиях неопределенности с учетом динамически меняющихся внешних и внутренних условий.

Описан оригинальный метод получения оценок привлекательности альтернатив в условиях неопределенности, который учитывает чувствительность альтернатив к возможным сценариям развития ситуации.

Благодаря использованию модели Раша оценки латентных переменных появилась возможность оценивать не только степень привлекательности альтернатив, но и производить оценку чувствительности альтернатив к возможным сценариям развития ситуации, что позволяет получать дополнительную информацию о влиянии внешних условий на процесс принятия решений.

Для качественного анализа результатов при принятии решений в соответствии с разработанным алгоритмом была приведена модель динамического контроля вероятности принятия решений в заданные сроки. С использованием нестационарных марковских случайных процессов появилась возможность оценить успешность принятия решений за отведенное время и рассчитать количество циклов, необходимых для уточнения исходных данных.

Следует отметить, что данное научное исследование можно развивать за счет детализации видов внешнего воздействия, разбиения этапа выбора оптимальной альтернативы на конкретные задачи с учетом факторов, влияющих на эти этапы, а также осуществляя учет наиболее актуальных внешних и внутренних воздействий на процесс принятия решений.

Список литературы

1. Баркалов С.А., Моисеев С.И., Порядина В.Л. Математические методы и модели в управлении и их реализация в MS Excel. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2015. 265 с.
2. Безматерных А.О., Файзрахманова Е.В. Содержательный анализ этапов принятия управленческих решений в концепциях различных школ управления и их отражение в специфике деятельности торговых предприятий // *Modern Science*. 2020. № 12-4. С. 34–38.
3. Гладкова Ю.В., Гладков В.П. Этапы принятия управленческих решений // *Вестник Пермского государственного технического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления*. 2010. № 4. С. 39–44.
4. Маликов Д.З. Этапы разработки управленческих решений // *Вестник науки*. 2020. Т. 4, № 5 (26). С. 116–120.
5. Морозкова В.Ю., Василенко М.Е. Значение анализа консолидированной финансовой отчетности и его этапы в принятии управленческих решений // *Актуальные вопросы современной экономики*. 2020. № 7. С. 58–64.
6. Попков М.В. Основные этапы принятия управленческих решений // *Мировая наука*. 2019. № 5 (26). С. 571–576.
7. Ананьев А.В., Иванников К.С., Моисеев С.И. Методика принятия решений в условиях неопределенности с использованием теории латентных переменных // *Системы управления и информационные технологии*. 2022. № 2 (88). С. 31–36.
8. Моисеев С.И., Обуховский А.В. Математические методы и модели в экономике: учеб. пособие. Изд. 2-е, испр. Воронеж: АОНО ВПО «Ин-т менеджмента, маркетинга и финансов», 2009. 160 с.
9. Барлаков С.А., Моисеев С.И., Порядина В.Л. Модели и методы в управлении и экономике с применением информационных технологий [Электронный ресурс]: учеб. пособие. СПб.: Интернет-медия, 2017. 264 с.
10. Rasch Models. Foundations, Resent Developments and Applications / Editors: G.H. Fischer, I.W. Molenaar. Springer, 1997.

11. Маслак А.А. Модель Раша оценки латентных переменных и ее свойства: моногр. / А.А. Маслак, С.И. Моисеев. Воронеж: НПЦ «Научная книга», 2016. 177 с.
12. Моисеев С.И. Модель Раша оценки латентных переменных, основанная на методе наименьших квадратов // Экономика и менеджмент систем управления. Научно-практический журнал. 2015. № 2.1 (16). С. 166–172.
13. Маслак А.А., Моисеев С.И., Осипов С.А. Сравнительный анализ оценок параметров модели Раша, полученных методами максимального правдоподобия и наименьших квадратов // Проблемы управления. 2015. № 5. С. 58–66.
14. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высш. шк., 1998. 354 с.
15. Матальцкий М.А. Элементы теории случайных процессов: учеб. пособие. Гродно: ГрГУ, 2004. 326 с.
16. Миллер Б.М., Панков А.Р. Теория случайных процессов в примерах и задачах. М.: Физматлит, 2002. 320 с.

References

1. Barkalov S.A., Moiseyev S.I., Poryadina V.L. *Matematicheskiye metody i modeli v upravlenii i ikh realizatsiya v MS Excel* [Mathematical Methods and Models in Management and Their Implementation in MS Excel]. Voronezh: SUACE Publ.; 2015. 265 p. (In Russ.)
2. Bezmaternykh A.O., Fayzrakhmanova E.V. [A meaningful analysis of the stages of managerial decision-making in the concepts of various management schools and their reflection in the specifics of the activities of commercial enterprises]. *Modern Science*. 2020;12-4:34–38. (In Russ.)
3. Gladkova Yu.V., Gladkov V.P. [Stages of managerial decision-making]. *Bulletin of the Perm State Technical University. Electrical engineering, information technologies, control systems*. 2010;(4):39–44. (In Russ.)
4. Malikov D.Z. [Stages of development of managerial decisions]. *Vestnik nauki*. 2020;4(5 (26)): 116–120. (In Russ.)
5. Morozkova V.Yu., Vasilenko M.E. [The value of the analysis of the consolidated financial statements and its stages in making managerial decisions]. *Actual issues of modern economics*. 2020;(7):58–64. (In Russ.)
6. Popkov M.V. [The main stages of managerial decision-making]. *World science*. 2019;5(26):571–576. (In Russ.)
7. Ananiev A.V., Ivannikov K.S., Moiseev S.I. [Decision-making methodology under uncertainty using the theory of latent variables]. *Management systems and information technologies*. 2022;2(88):31–36. (In Russ.)
8. Moiseyev S.I., Obukhovskiy A.V. *Matematicheskiye metody i modeli v ekonomike: ucheb. posobiye* [Mathematical Methods and Models in Economics: Textbook]. Voronezh: Institute of Management, Marketing and Finance Publ.; 2009. 160 p. (In Russ.)
9. Barlakov S.A., Moiseyev S.I., Poryadina V.L. *Modeli i metody v upravlenii i ekonomike s primeneniym informatsionnykh tekhnologiy: ucheb. posobiye* [Models and Methods in Management and Economics Using Information Technology: Textbook]. St. Petersburg: Intermedia Publ.; 2017. 264 p. (In Russ.)
10. Fischer G.H., Molenaar I.W. (Eds.). *Rasch Models. Foundations, Resent Developments and Applications*. Springer; 1997.
11. Maslak A.A., Moiseev S.I. *Model' Rasha otsenki latentnykh peremennykh i eye svoystva: monogr.* [Rasch model of latent variable estimation and its properties. Monograph]. Voronezh: SPC “Scientific Book”; 2016. 177 p. (In Russ.)
12. Moiseev S.I. [The Rasch model for estimating latent variables based on the least squares method]. *Economics and management of control systems*. 2015;2.1(16):166–172. (In Russ.)
13. Maslak A.A., Moiseev S.I., Osipov S.A. [Comparative analysis of estimates of the Rasch model parameters obtained by maximum likelihood and least squares methods]. *Management Problems*. 2015;(5):58–66. (In Russ.)
14. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchaynykh protsessov i eye inzhenernyye prilozheniya* [The Theory of Random Processes and its Engineering Applications]. Moscow: Higher School; 1998. 354 p. (In Russ.)

15. Matalytskiy M.A. *Elementy teorii sluchaynykh protsessov: ucheb. posobiye* [Elements of the Theory of Random Processes: Tutorial]. Grodno: Publishing House of the State University; 2004. 326 p. (In Russ.)

16. Miller B.M., Pankov A.R. *Teoriya sluchaynykh protsessov v primerakh i zadachakh* [The Theory of Random Processes in Examples and Problems]. Moscow: Fizmatlit; 2002. 320 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Баркалов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; barkalov@vgasu.vrn.ru.

Ананьев Александр Владиславович, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, АО «Научно-производственное предприятие «Полет», Нижний Новгород, Россия; sasha303_75@mail.ru.

Иванников Кирилл Сергеевич, директор научно-производственного комплекса «Специальное программное обеспечение», АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», Санкт-Петербург, Россия; ivannikov_ks@radar-mms.com.

Моисеев Сергей Игоревич, канд. физ.-мат. наук, доц., доц. кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; mail@moiseevs.ru.

Information about the authors

Sergey A. Barkalov, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Head of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; barkalov@vgasu.vrn.ru.

Alexander V. Ananiev, Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, JSC Research and Production Enterprise “Polet”, Nizhny Novgorod, Russia; sasha303_75@mail.ru.

Kirill S. Ivannikov, Director of the Research and Production Complex “Special Software”, JSC Research and Production Enterprise “Radar mms”, St. Petersburg, Russia; ivannikov_ks@radar-mms.com.

Sergey I. Moiseev, Cand. Sci. (Phys. and Math.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; mail@moiseevs.ru.

Статья поступила в редакцию 26.06.2022

The article was submitted 26.06.2022

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СПРОСА НА РЫНКЕ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ

Р.Р. Габдулин¹, nadsistema@yandex.ru

Е.А. Лясковская², elen_lea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2763-0857>

А.М. Коровин², korovinam@susu.ru

Е.А. Рец², retcea@susu.ru

¹ ООО «Челябинский тракторный завод – Уралтрак», Челябинск, Россия

² Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Развитие цифровой экономики, высокий уровень неопределённости внешней среды, политические и экономические конфликты, изменение глобальных сырьевых рынков диктуют потребность в разработке и применении новых методов управления социально-экономическими системами, среди которых задачи прогнозирования спроса являются одними из самых значимых и сложных. От точности определения доли рынка и оценок факторов конкурентоспособности зависят не только показатели использования ресурсного потенциала предприятия, его ликвидности и рентабельности, но также и стратегическая эффективность и устойчивость. **Цель исследования:** разработка и апробация метода прогнозирования спроса на промышленном предприятии с использованием метода интеллектуального анализа данных, позволяющего принимать превентивные управленческие воздействия на потребительские характеристики товара для достижения целевой доли рынка. **Материалы и методы:** логические индукция и дедукция, анализа и синтеза, логический и статистический анализ, экономико-математическое моделирование, методы интеллектуального анализа данных, построение деревьев решений. В работе рассмотрены ключевые особенности, главные факторы и основные подходы прогнозирования спроса на промышленных предприятиях в современных условиях, современные методы, используемые для прогнозирования спроса в условиях нестабильной среды; обоснована целесообразность использования методов интеллектуального анализа данных для решения задач прогнозирования спроса на промышленных предприятиях. Использовано программное обеспечение Deductor, See5, WizWhy. **Результаты.** Разработаны метод прогнозирования спроса на промышленном предприятии, основанный на использовании интеллектуального анализа данных – построении деревьев решений – с использованием автоматических программных комплексов. Особенностью метода является его универсальный характер – он может быть использован для построения прогнозов в различных отраслях промышленности. **Заключение.** Практическая значимость разработанного метода заключается в возможности его использования в принятии организационно-управленческих решений, направленных на изменение потребительских свойств продукции, реализация которых позволит достичь заданных значений доли рынка. Выявлены ключевые факторы конкурентоспособности продукции на рынке дорожно-строительной техники; даны рекомендации по дальнейшему развитию метода прогнозирования доли рынка и объема спроса. Апробация метода проведена на российском рынке дорожно-строительной техники. Рассмотрены возможности использования программ WizWhy, Deductor и See5 в рамках реализации метода на практике и сделаны выводы о достоверности результатов прогнозов, полученных с их использованием.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, дерево решений, маркетинговые исследования, прогнозирование спроса

Для цитирования: Прогнозирование спроса на рынке дорожно-строительной техники с использованием инструментов интеллектуального анализа данных / Р.Р. Габдулин, Е.А. Лясковская, А.М. Коровин, Е.А. Рец // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 117–131. DOI: 10.14529/ctcr220311

Original article
DOI: 10.14529/ctcr220311

FORECASTING DEMAND IN THE ROAD CONSTRUCTION MACHINERY MARKET USING DATA MINING

R.R. Gabdulin¹, nadsistema@yandex.ru

E.A. Lyaskovskaya², elen_lea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2763-0857>

A.M. Korovin², korovinam@susu.ru

E.A. Rets², retcea@susu.ru

¹ LLC “Chelyabinsk Tractor Plant – Uraltrak”, Chelyabinsk, Russia

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The development of the digital economy, a high level of uncertainty in the external environment, political and economic conflicts, changes in global commodity markets dictate the need to develop and apply new methods for managing socio-economic systems, among which the tasks of forecasting demand are among the most significant and complex. From the accuracy of determining the market share and assessing the factors of competitiveness depend not only on the indicators of the use of the enterprise's resource potential, its liquidity and profitability, but also on strategic efficiency and sustainability. **The purpose** of the study is to develop and test a method for forecasting demand at an industrial enterprise using the data mining method, which makes it possible to take preventive management actions on the consumer characteristics of a product in order to achieve the target market share. **Materials and methods:** logical induction and deduction, analysis and synthesis, logical and statistical analysis, economic and mathematical modeling, methods of data mining, building decision trees. The paper considers the key features, main factors and main approaches to forecasting demand at industrial enterprises in modern conditions, modern methods used to forecast demand in an unstable environment; the expediency of using data mining methods for solving the problems of forecasting demand in industrial enterprises is substantiated. Used software Deductor, See5, WizWhy. **Results.** A method has been developed for forecasting demand at an industrial enterprise, based on the use of data mining – building decision trees – using automatic software systems. A feature of the method is its universal nature – it can be used to build forecasts in various industries. **Conclusion.** The practical significance of the developed method lies in the possibility of its use in making organizational and managerial decisions aimed at changing the consumer properties of products, the implementation of which will allow reaching the specified values of the market share. The key factors of competitiveness of products in the market of road construction equipment have been identified; recommendations are given for the further development of the method of forecasting the market share and volume of demand. Approbation of the method was carried out on the Russian market of road construction equipment. The possibilities of using the programs WizWhy, Deductor and See5 within the framework of the implementation of the method in practice are considered and conclusions are drawn about the reliability of the results of forecasts obtained with their use.

Keywords: data mining, decision tree, market research, demand forecasting

For citation: Gabdulin R.R., Lyaskovskaya E.A., Korovin A.M., Rets E.A. Forecasting demand in the market of road construction equipment using data mining. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(3):117–131. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220311

Введение

Прогнозирование спроса является одной из наиболее важных задач в управлении макро- и микроэкономическими системами. В первом случае она выступает основой для разработки государственной политики в области регулирования отдельных рынков и отраслей. Во втором случае она является основой для организации финансово-хозяйственной деятельности предприятия, так как прогнозирование – это отправная точка процессов планирования и бюджетирования в деятельности предприятия, от которых зависит управление ресурсами, проектами и программами. Несмотря на то, что современные предприятия являются полифункциональными открытыми динамическими системами, их основной функцией остается удовлетворение существующих на рынке потребностей, для выявления и количественного измерения которых необходим специальный методический инструментарий.

Современные рыночные явления и процессы в долгосрочном и среднесрочном периодах являются функцией большого числа факторов. Для учета их совместного влияния на величину объема продаж целесообразно использовать многофакторные модели [1]. Однако их использование не гарантирует высокую точность прогноза, так как они не учитывают возможные изменения факторов, влияющих на прогноз, поэтому прогнозирование наиболее эффективно использовать в комплексе с другими видами анализа [2]. Создание прогнозных моделей позволяет предприятиям выявить потребности различных категорий клиентов [3].

Закономерно, что методический инструментарий для прогнозирования в современных социально-экономических системах зависит от характеристик этих систем и среды, в которой они функционируют. Главное понятие, характеризующее современную экономическую действительность, – это цифровизация и становление цифровой экономики. Согласно «Стратегии развития информационного общества 2030» [4] цифровая экономика – «хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде». В условиях цифровой экономики роль данных, информации и знаний в управлении и прогнозировании трудно переоценить. Одновременно с ростом значимости данных в управлении возникают новые требования к методам их систематизации, хранения и обработки. Управление на основе данных диктует потребность в использовании нового методического обеспечения, которое называют интеллектуальным анализом данных. Его задачей является трансформация «сырых» данных в ценные знания, необходимые и достаточные для принятия надежных организационно-управленческих решений. Сфера применения интеллектуального анализа данных достаточно обширна и включает как технические, так естественно-научные и социально-гуманитарные сферы. Однако наибольшее распространение он получил в экономике и управлении, став действенным инструментом принятия бизнес-решений, среди которых большое значение имеют решения в области маркетинга – прежде всего по прогнозированию спроса.

«Отправными точками» при построении прогнозов спроса выступают следующие моменты. Во-первых, существующая на предприятии организация служб маркетинга и продаж; во-вторых, существующие на рынке ключевые факторы, силы и возможности, определяющие формирование спроса на продукцию предприятия; в-третьих, имеющаяся в наличии информация для разработки прогнозов [5].

Для прогнозирования спроса учитываются следующие группы показателей и параметров [6]:

- конкурентные характеристики рынка;
- параметры основного и производного спроса;
- стадия жизненного цикла товара;
- характеристики рыночных факторов и условий;
- потенциал рынка и потенциал продаж;
- доля рынка отдельных производителей.

Методы прогнозирования спроса, несмотря на свою многочисленность, подразделяются на две большие группы – статистические и экспертные. В основе статистических методов лежит построение, верификация и использование экономико-математических моделей (чаще всего регрессионных) для предсказания значений спроса в определенные моменты времени, основанных на ретроспективных данных. Экспертные методы основываются на использовании субъективной информации, обобщающей опыт экспертов в определенной области. Они используются при отсутствии и/или неполноте статистической информации, изменчивости и неопределенности среды, когда тенденции прошлого, скорее всего, не сохранятся в будущем.

В условиях нестабильной и динамично изменяющейся внешней среды особую актуальность приобретает использование экономико-математических методов и моделей прогнозирования спроса крупных промышленных предприятий, базирующихся на сочетании нескольких подходов. Рассмотрим некоторые из них, предлагаемые современными исследователями.

Прогнозирование на основе ARIMA-модели. Это гибкая модель авторегрессии и проинтегрированного скользящего среднего, описывающая совокупность характеристик временных рядов. Авторегрессия означает, что «каждое значение ряда находится в линейной зависимости от предыдущих значений». Скользящее среднее означает, что «в ошибках модели в предшествующие периоды сосредоточена информация обо всей предыстории ряда». Согласно схеме скользящего среднего, «оценкой текущего уровня является взвешенное среднее всех предшествующих уровней». При этом веса при наблюдениях уменьшаются по мере удаления от последнего уровня –

информационная ценность наблюдений тем выше, чем ближе они к концу интервала наблюдений. ARIMA-прогнозирование включает ряд этапов: определение авторегрессионной модели и архитектуры ARIMA-модели, апробацию на основе количественных данных, отбор модели для прогнозирования, прогнозирование и верификацию прогноза [7].

Прогнозирование с использованием теории нечетких множеств. В условиях отсутствия точной статистической информации, характеризующей динамику спроса, теория нечетких множеств является надежным инструментом для формализации задач прогнозирования. Как в задачах классической регрессии, так и задачах нечеткой регрессии необходимо определить количественные зависимости между входными данными (факторами, влияющими на величину спроса) и выходными данными (величиной спроса). Однако в отличие от задач классической регрессии параметрами реляционных моделей выступают «нечеткие симметрические доверительные тройки чисел» или числа, показывающие «неизвестный параметр с заданной надежностью». Для построения нелинейной регрессионной модели используются данные временных рядов, а решение сводится к решению задач линейного программирования с пороговым значением [8].

Прогнозирование с использованием нейросетевого и непараметрического подходов. В настоящее время получают распространение методы прогнозирования спроса, объединяющие несколько подходов, например, непараметрический и нейросетевой. Для аппроксимации таблично заданной функции строится и обучается нейронная сеть. Выборки для обучения образуют имеющиеся временные точки. В основе непараметрического метода лежит гипотеза о рациональном поведении потребителей, согласно которой функция спроса определяется как максимум вогнутой функции полезности на некотором бюджетном множестве [9].

Современный мир находится на пороге глобального системного кризиса, пронизывающего все составляющие современной экономической системы [10]. Сложность прогнозирования спроса через определение доли рынка для промышленных предприятий определяется изменчивостью внутренней и внешней среды; большим числом факторов, влияющих на принятие решений о выборе продукции определенного производителя; требованиями-ограничениями, диктуемыми со стороны государства и комплексом внутренних социально-экономических и организационно-управленческих факторов. Коронавирусная пандемия, сопровождающаяся изменением экономических систем, политические конфликты и экономические войны, высокая волатильность на мировых сырьевых рынках обуславливают целесообразность использования интеллектуального анализа данных в задачах прогнозирования спроса [11].

Теория

За рубежом интеллектуальный анализ данных обозначается термином Data Mining. Предназначенный для «поиска в больших объемах данных неочевидных, объективных и полезных на практике закономерностей» Data Mining с 1983 года является одним из самых востребованных направлений в научных исследованиях, о чем свидетельствует информация из базы данных SCOPUS (рис. 1).

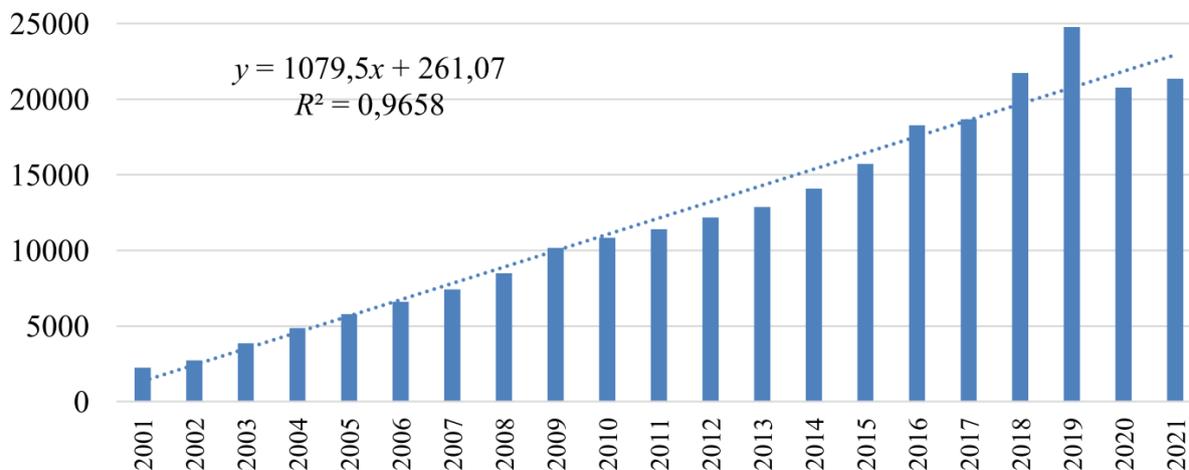


Рис. 1. Растущий тренд Data Mining в современных исследованиях
Fig. 1. The growing trend of Data Mining in modern research

Data Mining используется во многих сферах – в оценке рисков, кластеризации, формировании рекомендаций. Программные продукты, позволяющие осуществлять поиск закономерностей и тенденций, которые аналитику сложно выявить «невооруженным взглядом» из-за высокой сложности связей между ними, а также их большого объема, становятся действенным инструментом в принятии решений.

Преимущества концепции Data Mining заключаются в том, что она предусматривает возможность анализа «неточных, неполных, противоречивых и разнородных данных, понимание которых для решения прикладных задач требует существенных «интеллектуальных затрат». Кроме того, сами алгоритмы Data Mining «обладают элементами интеллекта», так как способны «обучаться по прецедентам – делать выводы из отдельных наблюдений». Отсюда Data Mining не может быть сведен к отдельным «конкретным технологиям». Посредством комплекса математических и статистических алгоритмов (требующих для создания больших интеллектуальных усилий и экспертных знаний) происходит кластеризация, создание сверхвыборок, корреляционно-регрессионный анализ с целью разработки моделей экономических процессов, на основании которых можно строить прогнозы социально-экономических показателей, необходимых для планирования деятельности. Для промышленных предприятий это реализуется в виде зависимости доли рынка (характеризующей объем спроса для конкретного участника) от факторов конкурентоспособности продукта.

В основе Data Mining лежит «концепция шаблонов», поиск которых производится методами «без каких-либо априорных предположений» [12]. Выделяют пять стандартных типов закономерностей, которые можно выявлять с помощью технологий Data Mining – ассоциация, последовательность, классификация, кластеризация, прогнозирование. Data Mining может быть реализован как «обычными системами баз данных и самостоятельно созданными инструментами», так и с использованием программных пакетов и продуктов. В последнее время получают распространение «комбинированные системы хранения и обработки данных», позволяющие «рассматривать наборы данных как с традиционными базами данных SQL, так и с необработанными текстовыми данными, с наборами «ключ/значение», документальными базами. Например, «кластерные базы данных» (Couchbase Server, Hadoop, CouchDB, Cassandra) позволяют организовать хранение и обработку данных способами, не отвечающими обычной табличной структуре» [13].

Таким образом, Data Mining предполагает синтез широкого математического инструментария и последних достижений в сфере хранения и обработки больших данных», объединяя «строго формализованные методы и методы неформального анализа».

Методы и приемы, реализуемые Data Mining, определяются спецификой конкретной задачи. Для решения задач прогнозирования спроса целесообразно использовать кластеризацию путем построения деревьев решений – разделение покупателей на группы в соответствии с выделенными признаками, и прогнозирование – установление функциональных зависимостей между характеристиками продукции (цена, надежность, производительность, эргономика) и показателями объема продаж, доли рынка и конкурентоспособности предприятий. Деревья решений являются одним из самых популярных и мощных инструментов интеллектуального анализа данных, позволяющих эффективно решать задачи классификации, а также прогнозирования следующего возможного события. Они основаны на рекурсивном разбиении исходного множества объектов на подмножества, называемые кластерами. Дерево решений – это модель, основанная на «обобщении опыта экспертов» и обладающая рядом достоинств: «для ее построения требуется меньше времени, чем для обучения нейронных сетей; она легко интерпретируется и интуитивно понятна человеку, в отличие от нейронных сетей, являющихся по своей природе черным ящиком; на вход алгоритма деревьев решений можно подавать любое количество параметров, алгоритм сам выберет наиболее значимые параметры, и только они будут фигурировать в построенном дереве; точность прогноза деревьев решений сопоставима со статистическими методами; алгоритмы построения деревьев решений имеют методы специальной обработки пропущенных данных; деревья решений успешно работают как с числовыми, так и строковыми значениями» [14, 15]. Объемы данных, которые необходимо использовать для принятия маркетинговых решений, диктует необходимость использования инструментов автоматического анализа данных с использованием средств автоматизации.

Метод

В основе прогнозирования спроса через определение доли участника на рынке дорожно-строительной техники лежит построение дерева решений с учетом потребительских характеристик продукции. Для анализа выбран высоко конкурентный российский рынок гусеничных бульдозеров. Это второй по объему в денежном выражении рынок среди всех видов дорожно-строительной техники после рынка гусеничных экскаваторов (рис. 2).



Рис. 2. Среднегодовые объемы продуктовых сегментов рынка дорожно-строительной техники в денежном выражении за 2017–2021 годы, млрд руб.

Fig. 2. Average annual volumes of product segments of the road construction equipment market in monetary terms for 2017–2021, billion rubles

Данный рынок характеризуется высокой динамикой структуры: наблюдаются разнонаправленные изменения долей рынка участников. За период с 2007 по 2021 годы на рынке происходили события, которые оказали существенное влияние на доли рынка всех без исключения участников:

- проведено три антидемпинговых расследования и введены антидемпинговые пошлины против всех китайских производителей (2015, 2018 и 2021 годы);
- правительством Российской Федерации введен утилизационный сбор на технику, а также создан механизм его компенсации для отечественных производителей, подтвердивших статус российского происхождения (начиная с 2016 года);
- изменились собственники у двух из трех крупных российских участников рынка, один из которых прошел через процедуру конкурсного управления (2011 и 2018 годы);
- правительством Российской Федерации реализуется программа импортозамещения при государственных закупках (начиная с 2015 года);
- введены санкционные ограничения на поставку комплектующих двойного назначения со стороны западных стран (начиная с 2015 года);
- сформировался рыночный сегмент восстановленной техники, производители которой получают сертификат или декларацию о соответствии Евразийского экономического союза (ранее Таможенного союза) и реализуют ее под видом новой (начиная с 2010 года);
- трижды курс доллара США, от которого напрямую зависит цена импортной техники, в моменте прирастал на величину, превышающую 50 % (февраль 2009, февраль 2015, февраль 2016 годов);
- Россия вступила во Всемирную торговую организацию, что привело к снижению ввозных таможенных пошлин на бульдозеры с 10 до 5 %, а также к существенному усложнению процедур защиты внутреннего рынка от недобросовестной международной конкуренции, требующих отстаивания спорных позиции в штаб-квартире ВТО в Женеве (2012 год);
- организован Таможенный союз Евразийского экономического союза, что позволило не только применять единые таможенные тарифы и другие меры регулирования при торговле с

третьими странами, но и снизить цены на комплектующие, производимые в странах – членах союза (2010 год) и др.

Этапы разработанного метода прогнозирования спроса с учетом доли на рынке дорожно-строительной техники представлены в табл. 1.

Метод прогнозирования спроса с учетом доли рынка

Таблица 1

Demand forecasting method based on market share

Table 1

Этап	Содержание этапа
Этап 1	Подготовка статистической информации: выбор источников информации, определение анализируемого периода, формирование реляционной базы данных с заданными полями
Этап 2	Определение всех участников рынка, действующих в анализируемый период
Этап 3	Формирование укрупненных групп участников рынка по критерию идентичности потребительских характеристик
Этап 4	Определение набора ключевых потребительских характеристик (факторов конкурентоспособности) продукта
Этап 5	Формирование укрупненных групп факторов конкурентоспособности продукта
Этап 6	Определение шкалы для количественной оценки факторов конкурентоспособности участников рынка
Этап 7	Экспертная оценка участников рынка по факторам конкурентоспособности в каждом анализируемом периоде и дополнение полученными значениями укрупненной базы данных
Этап 8	Расчет фактической доли рынка для каждого участника за анализируемый период и дополнение полученными значениями укрупненной базы данных
Этап 9	Нормирование групп долей рынка
Этап 10	Подготовка массива данных для проведения анализа и построения дерева решений
Этап 11	Выбор программного средства для проведения анализа (например, Deductor, See5, WizWhy и др.)
Этап 12	Загрузка базы данных в выбранную программу, проведение анализа, получение результатов
Этап 13	Графическая визуализация полученных результатов
Этап 14	Оценка достоверности полученных результатов
Этап 15	В случае неудовлетворительной оценки (менее 60 %) достоверности полученных результатов необходимо вернуться к этапу 3 либо завершить анализ
Этап 16	Ранжирование факторов конкурентоспособности, влияющих на размер доли рынка участников
Этап 17	Прогнозирование доли рынка участника (объекта исследования) с учетом текущих оценок факторов конкурентоспособности
Этап 18	Прогнозирование объема спроса на продукцию участника рынка путем перемножения полученной доли на ожидаемый объем рынка в целом
Этап 19	Принятие управленческого решения по изменению факторов конкурентоспособности объекта исследования для достижения заданной доли рынка (в случае получения неудовлетворительных оценок прогнозируемого объема спроса участника рынка)

В качестве членов экспертной группы могут выступать работники маркетинговых служб производителей и представители дилерских организаций импортеров. Статистической базой могут выступать обзоры отраслевых ассоциаций, а также база импорта Федеральной таможенной службы России. Для определения ключевых потребительских характеристик продукта могут использоваться опросы эксплуатирующих организаций.

Результат

Объем российского рынка гусеничных бульдозеров рассчитан как сумма импортируемых товаров (по данным Федеральной таможенной службы России) [16] и объема реализации российских участников (по данным российской ассоциации производителей специализированной техники и оборудования «Росспецмаш» [17], а также аналитической консалтинговой компании ОАО «Автосельхозмаш-холдинг») [18].

Для анализа рынок бульдозеров укрупненно разделен между пятью участниками. Китайские и западные бренды объединены в группы, так как обладают практически идентичными наборами потребительских характеристик. Российские предприятия существенно отличаются между собой по факторам конкурентоспособности, поэтому анализируются отдельно. Для обеспечения конфиденциальности российские конкуренты обозначены номерами:

- 1) российский конкурент № 1;
- 2) российский конкурент № 2;
- 3) российский конкурент № 3;
- 4) китайские бренды (Shantui, Zoomlion, Shehwa, SEM и др.);
- 5) западные бренды (Caterpillar, Komatsu, John Deere, Liebherr и др.).

Факторы конкурентоспособности продукта, создающие ценность для клиента на рынке бульдозеров, укрупненно разделены на 3 группы:

- 1) цена (включает первоначальную стоимость, а также стоимость владения за жизненный цикл);
- 2) качество (включает надежность, ресурс, эргономику);
- 3) сроки (включает сроки отгрузки техники с момента внесения предоплаты, а также сроки восстановления техники в случае нарушения ее работоспособности).

За период с 2007 по 2021 год по каждому конкуренту дана экспертная оценка по каждому фактору конкурентоспособности. Сформирован массив данных из 225 значений (оценка 5 конкурентов по 3 факторам конкурентоспособности за 15 лет). Чем выше балл, выставленный экспертом, тем выше конкурентоспособность по данному фактору. Далее рассчитана фактическая доля рынка каждого участника в натуральном выражении.

На рис. 3 представлена фактическая структура российского рынка гусеничных бульдозеров за период с 2007 по 2021 годы, что подтверждает высокую разнонаправленную динамику долей всех участников. Для обеспечения конфиденциальности данные по всем участникам рынка обезличены.

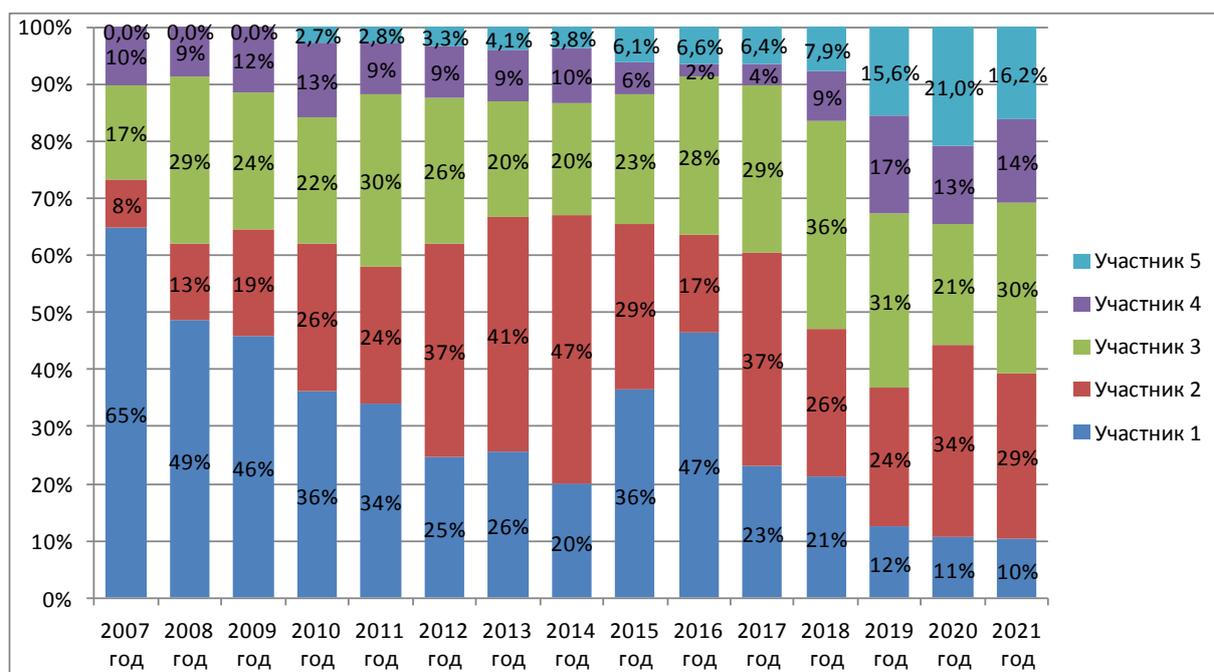


Рис. 3. Структура российского рынка бульдозеров
Fig. 3. The structure of the Russian market of bulldozers

В результате массив данных увеличен еще на 75 значений с фактическими долями рынка (доли 5 конкурентов за 15 лет) – конечный массив данных составил 300 значений. Для прогнозирования доли рынка участников произведено нормирование групп долей рынка:

- группа 1 – доля рынка до 10 % (низкая);
- группа 2 – доля рынка от 10 до 25 % (средняя);
- группа 3 – доля рынка более 25 % (высокая).

Для успешной загрузки, правильного распознавания формата (строковый / вещественный или дискретный / непрерывный) и преобразования данных из имеющегося файла MS Excel в аналитические программы преобразуем текст из кириллицы в латиницу, а также исключим использование пробелов (Цена – Price, Качество – Quality, Сроки – Time).

Для проведения анализа использованы три программы для построения дерева решений: Deductor, See5, WizWhy [19–21]. Отметим, что программа See5 создана для построения деревьев решений, Deductor – многопрофильный инструмент для интеллектуального анализа данных, WizWhy является программой для «обнаружения правил».

Результаты использования представленного в табл. 1 метода представлены на рис. 4–9 в виде деревьев решений в логическом и графическом видах.

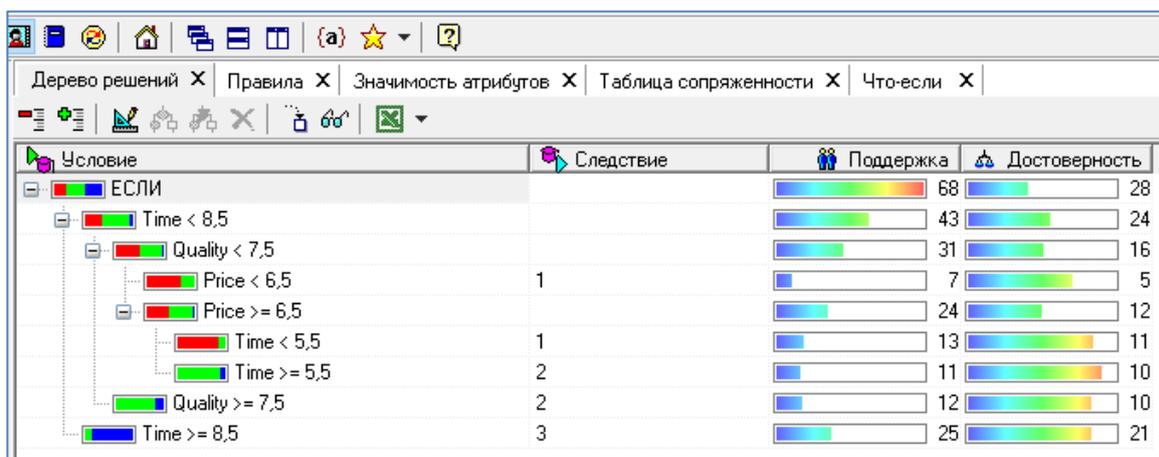


Рис. 4. Результаты расчетов в программе Deductor Studio Academic
Fig. 4. Results of calculations in the program Deductor Studio Academic

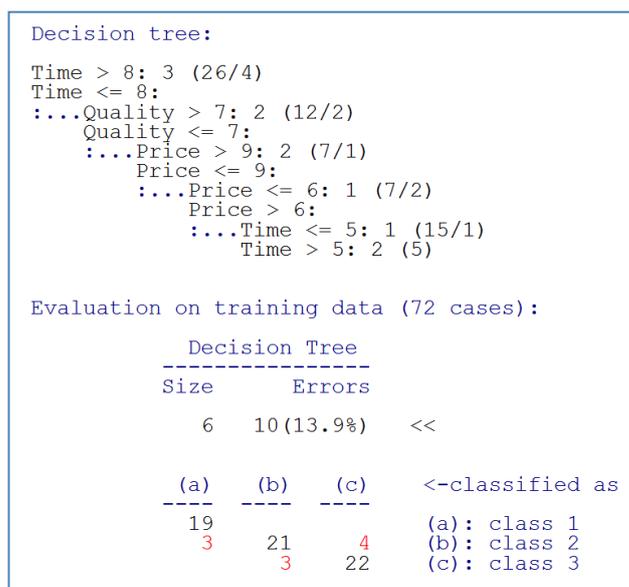


Рис. 5. Результаты расчетов в программе See5
Fig. 5. Results of calculations in the program See5

		The following conditions explain when MarketShareRank is more than 2,08
Conditions		
1	Price is 9,00 ... 10,00 (average = 9,58) and Time is 9,00 ... 10,00 (average = 9,42)	
2	Quality is 8,00 ... 10,00 (average = 9,05) and Time is 9,00 ... 10,00 (average = 9,41)	
		The following conditions explain when MarketShareRank is not more than 2,08
Conditions		
1	Price is 6,00 ... 8,00 (average = 7,50) and Time is 1,00 ... 7,00 (average = 4,75)	
2	Quality is 5,00 ... 6,00 (average = 5,80)	
3	Price is 6,00 ... 8,00 (average = 7,06) and Quality is 7,00	
4	Time is 1,00 ... 7,00 (average = 5,26)	
5	Time is 8,00	

Рис. 6. Результаты расчетов в программе WizWhy
Fig. 6. Results of calculations in the program WizWhy

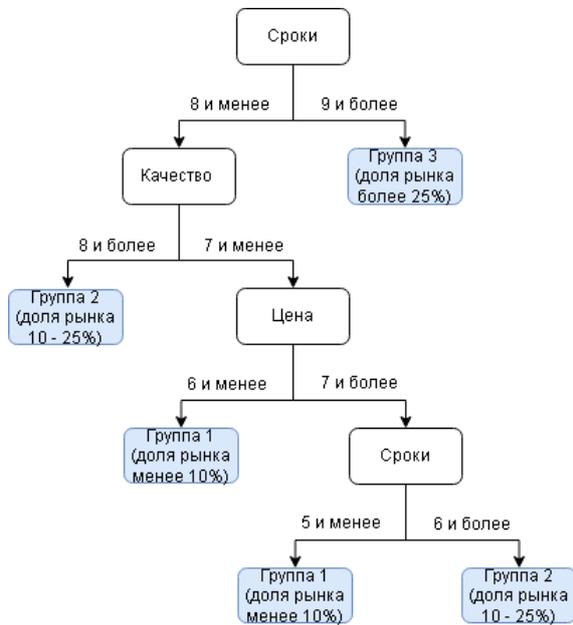


Рис. 7. Визуализация дерева решений на основе расчетов в программе Deductor
Fig. 7. Visualization of a decision tree based on calculations in the Deductor program

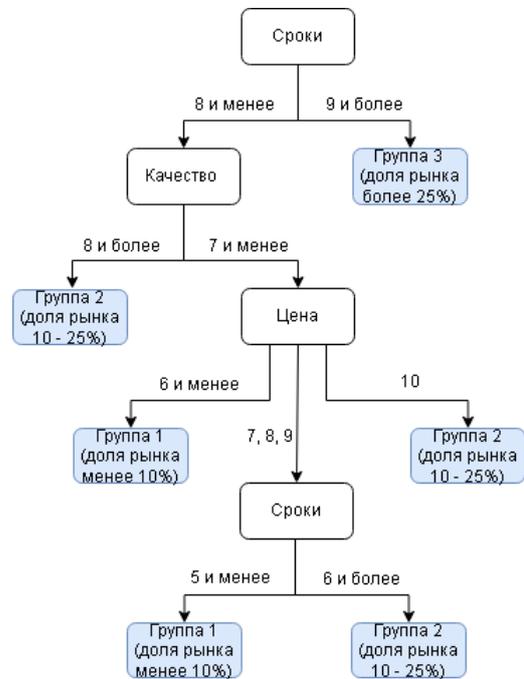


Рис. 8. Визуализация дерева решений на основе расчетов в программе See5
Fig. 8. Visualization of a decision tree based on calculations in the See5 program

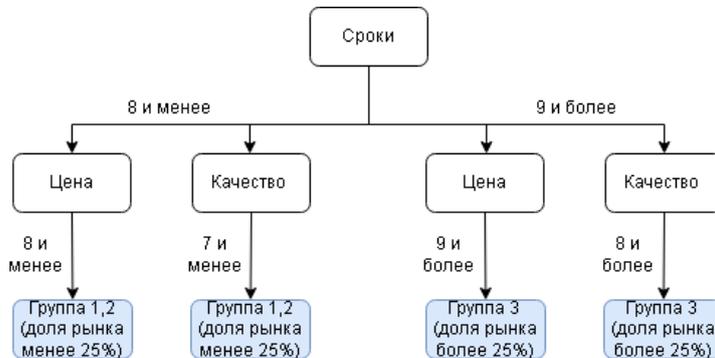


Рис. 9. Визуализация дерева решений на основе расчетов в программе WizWhy
Fig. 9. Visualization of a decision tree based on calculations in the WizWhy program

Из результатов расчета, визуальных моделей деревьев решений можно сделать следующие выводы:

- результаты, полученные с помощью трех программ, идентичны;
- наблюдается полное логическое и существенное графическое совпадение результатов использования программ Deductor и See5;
- результаты использования программы WizWhy, не позволяют построить полноценное дерево решений, так как определены только два из трех возможных вариантов варианта – либо первая и вторая группа (доля рынка до 25 %), либо третья группа (доля рынка более 25 %). Также логика построения позволила выделить фактически только два варианта: при различном разбиении по полю «Срок» можно подобрать два варианта с определенными границами по полю «Цена» и «Качество».

В табл. 2 представлены результаты построения деревьев решений с помощью программ Deductor, See5, WizWhy.

Таблица 2

Сравнение результатов построения деревьев решений в трех программах

Table 2

Comparison of the results of building decision trees in three programs

Программа	Ранг результирующих факторов (этап 16)	Размер дерева решений, число вариантов	Общая достоверность результатов (этап 14)	Результаты распределения групп с различными долями рынка с учетом количества случаев и оценки достоверности результатов
Deductor	1. Срок 2. Качество 3. Цена	6	83,8 %	Группа 1: 20 случаев (80 %) Группа 2: 23 случая (87 %) Группа 3: 25 случаев (84 %)
See5	1. Срок 2. Качество 3. Цена	5	86,1 %	Группа 1: 19 случаев (100 %) Группа 2: 21 случай (75 %) Группа 3: 22 случая (92 %)
WizWhy	1. Срок 2. Цена и Качество	4	93,1 %	Группы 1 и 2: 45 случаев (94 %) Группа 3: 22 случая (92 %)

Общая достоверность результатов, полученных с использованием каждой программы, находится на приемлемом уровне (у каждой модели выше 80 %). Результаты распределения групп с различными долями рынка с учетом количества случаев и оценки достоверности результатов в целом совпадают. В соответствии с полученными результатами если фактор конкурентоспособности «Сроки» оценивается 9 и более, то предполагается, что доля рынка будет высокой (более 25 %) с вероятностью от 84 до 92 %. В противном случае, если фактор конкурентоспособности «Сроки» оценивается 8 и менее, а фактор «Качество» оценивается 8 и более, то предполагается, что доля рынка будет средней (от 10 до 25 %). Аналогичный прогноз можно дать, если фактор «Сроки» попадает в диапазон 6–7, фактор «Качество» – 8 и более, а фактор «Цена» – 7 и более. Вероятность достижения средней доли рынка в данных случаях оценивается от 75 до 87 %. Во всех остальных случаях доля рынка прогнозируется на низком уровне, то есть до 10 %.

Таким образом, на российском рынке бульдозеров наибольшую важность имеет фактор конкурентоспособности «Сроки», вторым по значимости является фактор «Качество», последним – «Цена». Поэтому для достижения требуемой доли на российском рынке гусеничных бульдозеров управленческие воздействия необходимо в первую очередь направлять на фактор конкурентоспособности «Сроки», который включает сроки отгрузки техники, а также сроки ее восстановления после выхода из строя. Во вторую очередь управленческие воздействия необходимо направлять на фактор конкурентоспособности «Качество», который включает надежность, ресурс, эргономику техники. В третью очередь управленческие воздействия необходимо направлять на фактор «Цена». Для прогнозирования доли участника рынка с учетом известных факторов конкурентоспособности целесообразно использовать программы Deductor и See5. В связи с ограниченностью числа вариантов решений программу WizWhy рекомендуется использовать как дополнение в случае получения спорных или противоречивых результатов.

Выводы

Особую роль среди современных задач организационного управления имеют задачи прогнозирования спроса на крупных промышленных предприятия. Для их решения в условиях цифровой среды целесообразно использовать методы интеллектуального анализа данных, обладающие рядом преимуществ в сравнении с классическими методами формализованного и неформального анализа. Разработанный метод прогнозирования спроса основан на построении дерева решений и использовании автоматических программных комплексов, он может быть использован для построения прогнозов доли рынка в различных отраслях промышленности. Метод позволяет определить зависимость между ключевыми потребительскими характеристиками (факторы конкурентоспособности) продукции и долями участников рынка. Оказывая управленческое воздействие на факторы конкурентоспособности, менеджмент получает возможность обеспечивать целевые значения объемов продаж. Гибкость метода в отношении входных параметров – групп потребительских характеристик, групп участников рынка и нормирования доли рынка – позволяет достигать заданных уровней надежности прогноза. Практическая значимость разработанного метода заключается в возможности его использования для принятия организационно-управленческих решений, направленных на изменение потребительских свойств продукции, реализация которых позволит достичь заданных значений доли рынка.

Список литературы

1. Прогнозирование продаж на рынках отдельных групп товаров и услуг с применением методов интеллектуального анализа данных / О.А. Лукинова, Н.Д. Писаренко, Л.В. Смарчкова, П.В. Самойлов // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2015. № 9. С. 73–77.
2. Николаев С.В., Пронина О.Ю., Баженов Р.И. Исследование методов интеллектуального анализа для формирования краткосрочного прогноза в программной среде Statistica // Экономика и менеджмент инновационных технологий. 2015. № 7. [Электронный ресурс]. URL: <https://ekonomika.snauka.ru/2015/07/9500> (дата обращения: 01.05.2022).
3. Дюк В.А., Флегонтов А.В., Фомина И.К. Применение технологий интеллектуального анализа данных в естественнонаучных, технических и гуманитарных областях // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. 2011. № 138. С. 77–84.
4. Указ Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203 «О стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы». Вступил в силу с 9 мая 2017 года [Электронный ресурс]. URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201705100002.pdf> (дата обращения: 01.05.2022).
5. Амирханова П.М. Методы прогнозирования спроса // Вестник науки. 2020. № 4 (25). С. 40–43.
6. Юшин А.А. Методические основы прогнозирования спроса // Национальная ассоциация ученых. 2015. № 2-2 (7). С. 111–115.
7. Миролюбова А.А., Ермолаев А.Д., Прокофьев М.Б. ARIMA – прогнозирование спроса производственного предприятия // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2021. № 2 (66). С. 50–55. DOI: 10.6060/snt.20216602.0007
8. Горчакова Д.А., Шабалов В.А. Нечеткая регрессионная модель планирования поставок продукции металлургического предприятия // Вестник Череповецкого государственного университета. 2019. № 3 (90). С. 9–16. DOI: 10.23859/1994-0637-2019-3-90-1
9. Поспелова Л.Я., Шананин А.А. Прогнозирование потребительского спроса с помощью композиции обобщенного непараметрического и нейросетевого методов // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 1-2 (79). С. 23–28. DOI: 10.23670/IRJ.2019.79.1.033
10. Мастепанов А.М. Большие циклы и «черные лебеди» // Энергетическая политика. 2020. № 6 (148). С. 4–19.
11. Многомерный (OLAP) анализ данных в управлении процессом создания ценности продукта / О.В. Логиновский, А.М. Коровин, Р.П. Габдулин, Е.А. Лясковская // Умные технологии в современном мире: сб. тр. IV Всерос. науч-практ. конф., Челябинск, 24–25 ноября 2021 года. 2021. С. 97–105.

12. Нейский И.М. Характеристика технологий и процессов интеллектуального анализа данных // Интеллектуальные технологии и системы: сб. учеб.-метод. раб. и стат. аспирантов и студентов, М.: Изд-во ООО «Эликс+», 2005. Вып. 7. С. 111–122.
13. Кирьянова Е.А., Серебрякова Т.А. Методы интеллектуального анализа данных // Вестник науки. 2018. № 2 (2). С. 3–5.
14. Платформа Loginom: деревья решений [Электронный ресурс]. URL: <https://loginom.ru/blog/decision-tree-p1> (дата обращения: 01.05.2022).
15. BaseGroup Labs: онтология анализа данных [Электронный ресурс]. URL: <https://basegroup.ru/community/articles/ontology> (дата обращения: 01.05.2022).
16. Таможенная статистика внешней торговли РФ: анализ данных таможенной статистики внешней торговли РФ [Электронный ресурс]. URL: <http://stat.customs.ru/analysis> (дата обращения: 01.05.2022).
17. Роспецмаш-Стат: рынок и производство специализированной техники и оборудования в Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <https://stat.rosspetsmash.ru/authorization> (дата обращения: 01.05.2022).
18. Автосельхозмаш-холдинг: производство и отгрузка тракторной техники предприятиями России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.asm-holding.ru/> (дата обращения: 01.05.2022).
19. RuleQuest Research: Data Mining Tools See5 and C5.0 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rulequest.com/see5-info.html> (дата обращения: 01.05.2022).
20. WizSoft: WizWhy Overview [Электронный ресурс]. URL: <https://www.wizsoft.com/products/wizwhy/> (дата обращения: 01.05.2022).
21. Base Group Labs: руководство аналитика Deductor [Электронный ресурс]. URL: https://basegroup.ru/system/files/documentation/guide_analyst_5.2.0.pdf (дата обращения: 01.05.2022).

References

1. Lukinova O.A., Pisarenko N.D., Smarchkova L.V., Samojlov P.V. Forecasting sales in the markets of certain groups of goods and services using data mining methods. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2015;9:73–77. (In Russ.)
2. Nikolaev S.V., Pronina O.Yu., Bazhenov R.I. Research of intellectual analysis methods for the formation of a short-term forecast in the Statistica software environment. *Ekonomika i menedzhment innovacionnyh tekhnologij*. 2015;7. Available at: <https://ekonomika.snauka.ru/2015/07/9500> (accessed 01.05.2022). (In Russ.)
3. Dyuk V.A., Flegontov A.V., Fomina I.K. Application of data mining technologies in the natural sciences, technical and humanitarian fields. *Izvestiya Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gercena*. 2011;138:77–84. (In Russ.)
4. Ukaz Prezidenta Rossijskoy Federatsii ot 09.05.2017 g. N 203 “O strategii razvitiya informacionnogo obshchestva v Rossijskoj Federacii na 2017-2030 gody” Vstupil v silu s 9 maya 2017 goda [Decree of the President of the Russian Federation No. 203 dated 09.05.2017 “On the strategy for the development of the information society in the Russian Federation for 2017-2030”. Entered into force on May 9, 2017]. Available at: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201705100002.pdf> (accessed 01.05.2022). (In Russ.)
5. Amirhanova P.M. Demand Forecasting Methods. *Vestnik nauki*. 2020;4(25):40–43. (In Russ.)
6. Yushin A.A. Methodological bases of demand forecasting. *Nacional'naya asociaciya uchenyh*. 2015;2-2(7):111–115. (In Russ.)
7. Mirolyubova A.A., Ermolaev A.D., Prokof'ev M.B. ARIMA – forecasting the demand of a manufacturing enterprise. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*. 2021;2(66):50–55. (In Russ.) DOI: 10.6060/snt.20216602.0007
8. Gorchakova D.A., SHabalov V.A. Fuzzy regression model for planning the supply of products of a metallurgical enterprise. *Vestnik CHerepoveckogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019;3(90):9–16. (In Russ.) DOI: 10.23859/1994-0637-2019-3-90-1
9. Pospelova L.YA., Shaninin A.A. Forecasting consumer demand using the composition of generalized non-parametric and neural network methods. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2019;1-2(79):23–28. (In Russ.) DOI: 10.23670/IRJ.2019.79.1.033

10. Mastepanov A.M. Big cycles and black swans. *Energeticheskaya politika*. 2020;6(148):4–19. (In Russ.)
11. Loginovskij O.V., Korovin A.M., Gabdulin R.R., Lyaskovskaya E.A. Multidimensional (OLAP) data analysis in product value creation process management. In: *Umnye tekhnologii v sovremennom mire: sbornik trudov IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Smart Technologies in the Modern World: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference]. Chelyabinsk; 2021. P. 97–105. (In Russ.)
12. Nejskij I.M. Characteristics of technologies and processes of data mining. In: *Intellektual'nye tekhnologii i sistemy: sbornik uchebno-metodicheskikh rabot i statej aspirantov i studentov* [Intelligent Technologies and Systems: a Collection of Educational and Methodical Works and Articles of Graduate Students and Students]. Moscow; 2005;7:111–122. (In Russ.)
13. Kir'yanova E.A., Serebryakova T.A. Data Mining Methods. *Vestnik nauki*. 2018;2(2):3–5.
14. *Platforma Loginom: derev'ya reshenij* [Loginom Platform: Decision Trees]. Available at: <https://loginom.ru/blog/decision-tree-p1> (accessed 01.05.2022). (In Russ.)
15. *BaseGroup Labs: ontologiya analiza dannyh* [BaseGroup Labs: data analysis ontology]. Available at: <https://basegroup.ru/community/articles/ontology> (accessed 01.05.2022). (In Russ.)
16. *Tamozhennaya statistika vneshnej torgovli RF: analiz dannyh tamozhennoj statistiki vneshnej torgovli RF* [Customs statistics of foreign trade of the Russian Federation: analysis of data from customs statistics of foreign trade of the Russian Federation]. Available at: <http://stat.customs.ru/analysis> (accessed 01.05.2022). (In Russ.)
17. *RosspetsmashStat: rynek i proizvodstvo specializirovannoj tekhniki i oborudovaniya v Rossijskoj Federacii* [Rosspetsmash Stat: market and production of specialized machinery and equipment in the Russian Federation]. Available at: <https://stat.rosspetsmash.ru/authorization> (accessed 01.05.2022). (In Russ.)
18. *Avtosel'hozmash-holding: proizvodstvo i otgruzka traktornoj tekhniki predpriyatiyami Rossii* [Avtoselkhoz mash-holding: production and shipment of tractor equipment by Russian enterprises]. Available at: <https://www.asm-holding.ru/> (accessed 01.05.2022). (In Russ.)
19. *RuleQuest Research: Data Mining Tools See5 and C5.0*. Available at: <https://www.rulequest.com/see5-info.html> (accessed 01.05.2022).
20. *WizSoft: WizWhy Overview*. <https://www.wizsoft.com/products/wizwhy/> (accessed 01.05.2022).
21. *Base Group Labs: Rukovodstvo Analitika Deductor* [Base Group Labs: Deductor Analyst Guide]. Available at: https://basegroup.ru/system/files/documentation/guide_analyst_5.2.0.pdf (accessed 01.05.2022).

Информация об авторах

Габдулин Рамиль Ринатович, канд. экон. наук, начальник отдела маркетинга, ООО «Челябинский тракторный завод – Уралтрак», Челябинск, Россия; nadsistema@yandex.ru.

Ляковская Елена Александровна, д-р. экон. наук, доц., проф. кафедры цифровой экономики и информационных технологий, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; elen_lea@mail.ru.

Коровин Александр Михайлович, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; korovinam@susu.ru.

Рец Евгения Анатольевна, инженер-исследователь кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; retcea@susu.ru.

Information about the authors

Ramil R. Gabdulin, Cand. Sci. (Econ), Head of Marketing Department, LLC “Chelyabinsk Tractor Plant – Uraltrak”, Chelyabinsk, Russia; nadsistema@yandex.ru.

Elena A. Lyaskovskaya, Dr. Sci. (Econ), Ass. Prof., Prof. of the Department Digital Economy and Information Technologies, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; elen_lea@mail.ru.

Alexander M. Korovin, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department Information and Analytical Support of Management in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; korovinam@susu.ru.

Evgenia A. Retz, research engineer of the Department Information and Analytical Support of Management in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; retcea@susu.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.05.2022

The article was submitted 19.05.2022

О СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Т.А. Аверина, ta_averina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9150-9018>
Е.А. Авдеева, avdeeva_ea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5736-6175>
Т.М. Курбатова, elena-h@mail.ru

Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

Аннотация. Угроза прерывания бизнеса присутствует всегда, и считается, что число кризисов увеличивается. С весны 2020 года мир столкнулся с редко встречающимся кризисом: был обнаружен ранее неизвестный вирус (COVID-19). С ситуацией было сложнее справиться, чем с традиционными кризисами. Кризис часто рассматривается как негативное явление, отмечена тесная связь между кризисом и изменениями, что отражает положительный кризисный импульс для успешного развития компании. **Цель исследования:** обосновать необходимость создания системы антикризисного управления на предприятии с помощью анализа типологии современных кризисов и выделить новые области современных бизнес-моделей в целях сохранения устойчивости и развития предприятия. **Методы.** С помощью трендового, сравнительного и факторного анализа сделан ряд выводов и обобщений. **Результаты.** При выборе антикризисной стратегии помогает кризисная диагностика: выделены компоненты антикризисного управления, включающие анализ ситуации, антикризисный штаб, схемы и алгоритмы устранения проблем, направления восстановления работы организации, финансовые показатели, цели глобальные и точечные, ресурсы для достижения целей, коммуникации. Сформулированы первоочередные принципы осуществления антикризисных мероприятий: адаптивности, синергии, опережающего управления, оперативного реагирования, рациональности. На основе изученного отечественного и зарубежного опыта классифицированы возможные в современных условиях кризисы, выделены их сущность, причины и меры реагирования: финансовый, технологический, кадровый, организационный, техногенный. Для оценки силы и пригодности существующей системы антикризисного управления сформулированы вопросы для самоанкетирования менеджеров. Сегодня компании должны быть стабильными и динамичными. Обобщены новые области современных бизнес-моделей: переход на полностью цифровые технологии, освоение новых направлений бизнеса, виртуальные и цифровые модели продаж – к примеру, виртуальный опыт потребителей в разработке и тестировании продукта, альтернативные источники поставок с целью управления рисками. **Заключение.** Подчеркнуто, что кардинальные изменения происходят слишком быстро; чтобы компании могли продолжать традиционное ежегодное стратегическое планирование, необходимо переходить к ежемесячным стратегическим совещаниям, чтобы рассмотреть существующие портфели запланированных стратегических шагов и обновить их по мере появления новых возможностей или изменения внешних условий.

Ключевые слова: организационный кризис, антикризисное управление, антикризисная стратегия, кризисная диагностика, антикризисные мероприятия

Для цитирования: Аверина Т.А., Авдеева Е.А., Курбатова Т.М. О создании системы антикризисного управления на предприятии в условиях неопределенности // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 132–140. DOI: 10.14529/ctcr220312

ABOUT THE CREATION OF A CRISIS MANAGEMENT SYSTEM AT AN ENTERPRISE IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY

T.A. Averina, ta_averina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9150-9018>

E.A. Avdeeva, avdeeva_ea@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5736-6175>

T.M. Kurbatova, elena-h@mail.ru

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract. The threat of business interruption is always present and it is believed that the number of crises is increasing. Since the spring of 2020, the world has faced a rare crisis: a previously unknown virus (COVID-19) has been discovered. The situation was harder to handle than traditional crises. The crisis is often viewed as a negative phenomenon, there is a close relationship between crisis and change, which reflects the positive crisis momentum for the successful development of the company. **The research objective is to** substantiate the need to create an anti-crisis management system at the enterprise by analyzing the typology of modern crises and to highlight new areas of modern business models in order to maintain the sustainability and development of the enterprise. **Methods.** With the help of trend, comparative and factor analysis, a number of conclusions and generalizations were made. **Results.** When choosing a crisis strategy, crisis diagnostics helps: the components of crisis management are highlighted, including an analysis of the situation, a crisis headquarters, schemes and algorithms for eliminating problems, directions for restoring the work of the organization, financial indicators, global and point goals, resources for achieving goals, communications. The priority principles for the implementation of anti-crisis measures are formulated: adaptability, synergy, advanced management, prompt response, rationality. On the basis of the studied domestic and foreign experience, crises possible in modern conditions are classified, their essence, causes and response measures are highlighted: financial, technological, personnel, organizational, technogenic. To assess the strength and suitability of the existing system of crisis management, questions for managers' self-questionnaires are formulated. Companies today need to be stable and dynamic. New areas of modern business models are summarized: the transition to fully digital technologies, the development of new business lines, virtual and digital sales models - for example, the virtual experience of consumers in product development and testing, alternative sources of supply for risk management. **Conclusion.** It is emphasized that dramatic changes are happening too fast for companies to continue with traditional annual strategic planning – it is necessary to move to monthly strategic meetings to review existing portfolios of planned strategic steps and update them as new opportunities arise or external conditions change.

Keywords: organizational crisis, crisis management, crisis strategy, crisis diagnostics, anti-crisis measures

For citation: Averina T.A., Avdeeva E.A., Kurbatova T.M. About the creation of a crisis management system at an enterprise in conditions of uncertainty. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):132–140. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220312

Угроза прерывания бизнеса присутствует всегда, и считается, что число кризисов увеличивается. С весны 2020 года мир столкнулся с редко встречающимся кризисом: был обнаружен ранее неизвестный вирус (COVID-19), который распространился по всему миру и оказал влияние, которое трудно понять, не говоря уже о том, чтобы предсказать. С ситуацией было сложнее справиться, чем с традиционными кризисами. В то время как многие предыдущие кризисы происходили в определенном месте и в определенное время (например, стихийные бедствия) или имели глобальные последствия, которые развивались в течение длительного периода времени (например, финансовые кризисы), кризис COVID-19 сочетает в себе глобальное распространение с неизвестными временными рамками. Никто не знает, когда и в каком объеме деятельность может быть возобновлена, что значительно усложняет работу по преодолению кризиса [1].

Кризис – это внезапное и незапланированное событие, которое приводит к нестабильности организации и может быть вызвано внутренними или внешними факторами. Чтобы предотвра-

титель серьезный ущерб для компании, важно устранить факторы, спровоцировавшие кризис, и предотвратить его дальнейшую эскалацию.

Существует три основных свойства организационных кризисов.

1. Проблема обычно угрожает жизнестойкости организации.
2. Проблема появляется неожиданно и застает организацию врасплох, менеджеры оказываются не готовы к кризису.
3. Проблема вынуждает организацию принимать резкие и взвешенные решения, чтобы спасти себя [2].

Основные причины кризисов представлены на рис. 1.



Рис. 1. Причины кризисов
Fig. 1. Causes of crises

Кризис часто рассматривается как негативное явление, однако отмечается тесная связь между кризисом и изменениями, что отражает положительный кризисный импульс для успешного развития компании.

Кризис выполняет и позитивные функции:

- ✓ устранение устаревших и исчерпавших себя элементов системы или процесса;
- ✓ возникновение условий для выявления, появления и внедрения новых элементов обновляемых систем;
- ✓ проверка на прочность частей старой системы перед переходом на новую.

Проанализировав характеристики кризиса, можно утверждать, что модель мониторинга кризисной ситуации необходимо применять в любой компании. Кризисная диагностика может помочь предугадать, какую стратегию применить: оборонительную или наступательную. Таким образом, в системе диагностики присущи три основных требования:

- новизна распознавания феномена кризиса;
- достоверность результатов;
- диагностика непрерывности процесса.

При наличии признаков кризиса компания должна постараться его прекратить и предпринять определенные шаги и меры для восстановления деятельности. В научной литературе [3, 4] выделяют две группы действий: операции и стратегии. Оперативные мероприятия применяются для устранения отклонений от планового и достигнутого уровня, т. е. для устранения негативных изменений в деятельности компании. Стратегические меры включают развитие человеческих ресурсов, исследование конкурентного рынка, анализ спроса и предложения, обеспечение ресурсами, внедрение новых технологий и исследование экономической ситуации в стране [5–7]. Чтобы понять кризис, нужно определить основные направления действий (рис. 2).

Сформулируем принципы осуществления антикризисных мероприятий:

1) *принцип адаптивности*, который заключается в гибкости стратегий, способности системы управления изменять свои состояния в результате изменения условий функционирования. Принцип адаптивности можно реализовать с помощью постоянного анализа состояний среды и выработки адекватных им изменений на стратегическом и тактическом уровнях.

2) *принцип синергии*, который заключается в том, что некоторые работники, подразделения, проблемы или события могут быть перегруппированы для получения суммарного синергетического эффекта от объединения;

3) принцип опережающего управления, который ориентирует работников и руководство организации на профилактику, прогнозирование и раннюю диагностику кризисов;

4) принцип оперативного реагирования, который заключается в своевременном реагировании на изменение ситуации, проведении антикризисных мероприятий в срок, требуемый для наиболее эффективного решения возникшей проблемы;

5) принцип рациональности – предполагает, что затраты на решение проблемы не должны превышать возможных потерь или убытков, которые могут возникнуть в процессе реализации антикризисных мероприятий [8].

Анализ и диагностика ситуации
Антикризисный штаб (формирование, распределение ролей)
Варианты устранения проблем (схемы, алгоритмы)
Пути восстановления работы организации
Финансовые показатели
Цели глобальные и точечные (финансовое оздоровление, банкротство, реструктуризация или коррекция имиджа)
Ресурсы для реализации целей (что есть и чего не хватает)
Стадия на пути к цели на данный момент
Коммуникации (PR, GR и маркетинг)

Рис. 2. Структура стратегии антикризисного управления
Fig. 2. The structure of the crisis management strategy

При осуществлении антикризисных мер организация должна ориентироваться больше на опережающее превентивное управление, чем на реактивное. Меры по антикризисному управлению должны быть различны на разных этапах функционирования организации и зависеть от стадии кризисного процесса [9].

Эффективность антикризисных мер напрямую зависит от того, насколько своевременно был обнаружен кризис и приняты меры по его смягчению и преодолению [10].

На основе изученного отечественного и зарубежного опыта классифицируем возможные в современных условиях кризисы, выделим их сущность, причины и меры реагирования рис. 3.

Современная организация должна быть стабильной и динамичной, поэтому устойчивая экономическая концепция, основывается, в первую очередь, на трех стратегиях:

- стратегия управления финансовыми ресурсами для обеспечения устойчивого развития;
- стратегия управления производственными мощностями по принципу оптимизации ресурсов;
- стратегия принятия оптимальных управленческих решений.

Концепцию устойчивого развития можно представить как совокупный эффект финансовых, материальных и трудовых ресурсов (рис. 4), а также выбранных стратегий управления ими, которые влияют на конечный результат. [6, 11].

Практика доказывает, что при оценке итогового финансового результата необходимо учитывать влияние внешних факторов и внутренней среды. Определено, что необходимо не только приспосабливаться к факторам внешней и внутренней среды, но и по возможности управлять ими.

Лучший способ справиться с кризисом – опережать его. Компании должны поддерживать работоспособность своих систем антикризисного управления и быть готовыми к действиям, когда это потребуется, даже если они не предвидят кризиса в ближайшем будущем [3, 8, 12, 13].

Десять вопросов, которые можно задать, чтобы оценить силу и пригодность нынешней системы антикризисного управления организации.

1. Как организация будет обеспечивать благополучие своих людей и безопасность производственных активов в случае кризиса?

2. Как организация может обеспечить устойчивое финансирование и стабильные денежные резервы?

<p>Финансовый кризис возникает, когда организация внезапно теряет крупную сумму денег, что затрудняет выполнение ее финансовых обязательств или обслуживание долга</p>	<p>Потеря дохода Инфляция Банкротство Потеря рынка Внезапное изменение рыночных тенденций</p>	<p>Наличие антикризисного фонда, поиск альтернативных источников ликвидности Создание лучших стратегий для получения дохода Изменение бизнес-модели или поиск новых рынков Поиск партнеров, которые могут предоставить экстренные средства Наличие плана антикризисного управления для восстановления деятельности и смягчения ущерба</p>
<p>Технологический кризис сбой аппаратного и программного обеспечения или промышленные аварии</p>	<p>Отказ технологических инструментов без предупреждения</p>	<p>Инвестирование в системы резервного копирования, которые могут заполнить пустоту, если основная инфраструктура внезапно выйдет из строя. Профессиональная служба поддержки клиентов для рассмотрения жалоб во время простоев</p>
<p>Кадровый кризис возникает, когда кто-то в организации совершает незаконные или неэтичные действия, влияющие на общественную репутацию компании</p>	<p>Поведение сотрудника на работе или в личной жизни</p>	<p>Определение соответствующих дисциплинарных мер, которые необходимо принять в отношении сотрудника, как для защиты его законных прав, так и для защиты репутации бизнеса</p>
<p>Организационные кризисы могут привести к судебным разбирательствам, репутационному ущербу и потере лояльности</p>	<p>Кризис обмана, Кризис неправомерных действий руководства Кризис искаженных управленческих ценностей</p>	<p>Создание новой корпоративной культуры с новым набором ценностей, которые определяют поведение руководства и сотрудников, обеспечивая этическое поведение</p>
<p>Природная или техногенная катастрофа</p>	<p>Стихийные бедствия или тип кризиса, вызванный действиями людей (кибератака)</p>	<p>Выделение резервного фонда</p>

Рис. 3. Типология современных кризисов, их сущность, меры реагирования
Fig. 3. Typology of modern crises, their essence, response measures

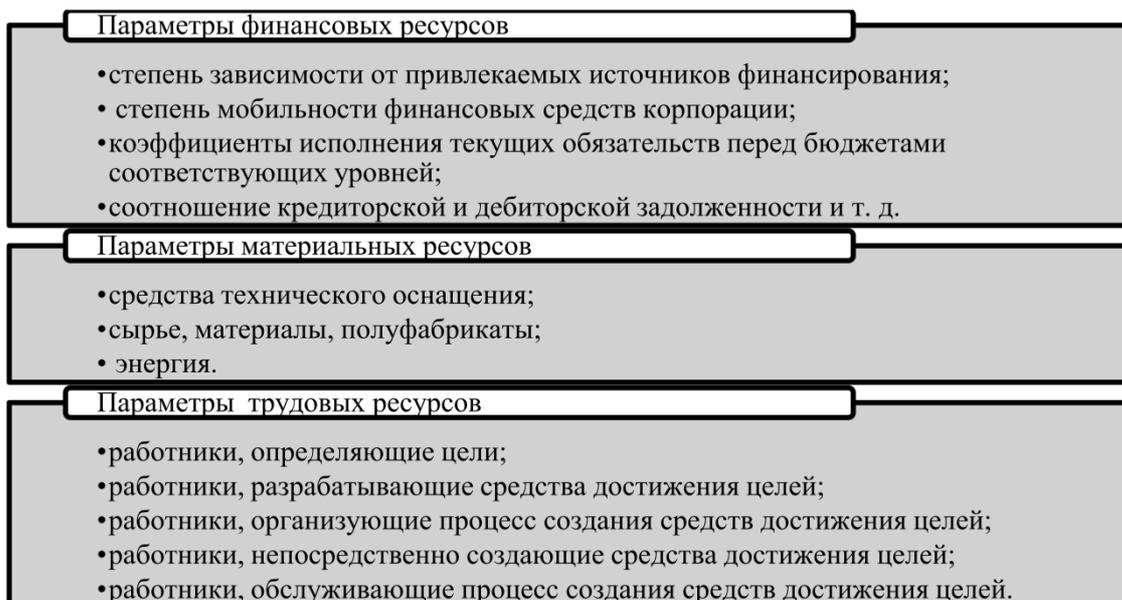


Рис. 4. Ключевые компоненты антикризисного управления
Fig. 4. Key components of crisis management

3. Существуют ли хорошо скоординированные и стандартизированные системы и протоколы связи, обеспечивающие четкую и прозрачную связь со всеми заинтересованными сторонами?

4. Есть ли в организации группы кризисного управления для управления краткосрочными последствиями и инициирования соответствующих контрмер?

5. Какая есть модель для оценки потенциальных рисков и определения мер реагирования в случае кризиса?

6. Учитывали ли влияние кризиса на процессы бюджетирования и бизнес-планирования и применяли ли механизмы раннего предупреждения в организации?

7. Когда кризис имеет серьезные финансовые последствия, как организация может адаптировать свою бизнес-модель для снижения затрат как в краткосрочной, так и в среднесрочной перспективе?

8. Как срыв спроса повлияет на организацию и как она будет восстанавливаться после него?

9. Определены ли риски цепочки поставок и производства, которые могут возникнуть в результате кризиса, и что можно сделать, чтобы снизить эти риски?

10. Достаточно ли устойчива бизнес-модель организации, чтобы оправиться от последствий кризиса и справиться с потенциальными кризисами в будущем?

Что же надо менять, в чем инновационность бизнес-моделей? Mckinsey провело опрос примерно 300 руководителей высшего звена, чтобы более подробно понять ответы их организаций на кризис [14, 15]. При анализе ответов выделяются три основных вывода. Во-первых, примерно половина руководителей сообщила, что кризис выявил слабые места в стратегической устойчивости их компаний, которую мы определяем как степень, в которой бизнес-модель организации и ее конкурентная позиция оказываются устойчивыми к разрушениям. Во-вторых, инновации бизнес-моделей были, безусловно, наиболее важным стратегическим рычагом в борьбе с кризисом: три четверти респондентов сообщили о таких инициативах, в том числе почти 90 % тех, кто считал ответные меры своей компании очень эффективными. Наконец, 60 % опрошенных руководителей заявили, что ожидают, что эти инновации сохранятся после кризиса.

Пандемия поставила предприятия перед строгими тестами на стратегическую устойчивость. Для многих это было неприятным пробуждением. В опросе в среднем 42 % респондентов сообщают, что кризис ослабил конкурентоспособность их компаний. Для сравнения – 28 % отмечают, что их компании повысили свои конкурентные преимущества. Эти «антихрупкие» организации (используя термин Нассима Талеба для организаций, которые становятся сильнее под воздействием стрессоров) полагались в первую очередь на запатентованные технологии или сильный бренд, чтобы процветать в условиях широко распространяемых экономических потрясений.

Инновации в бизнес-моделях стали ключевым отличием тех компаний, которые добились успеха во время пандемии. На самом деле респонденты опроса, заявившие, что их компании очень эффективно справились с кризисом, в 1,5 раза чаще сообщали о внедрении инноваций в бизнес-модели, чем те, кто считал, что ответные меры их организаций были неэффективными [3, 12, 15].

Те, кто принял новые бизнес-модели, как правило, сосредоточивались на следующих направлениях (рис. 5).

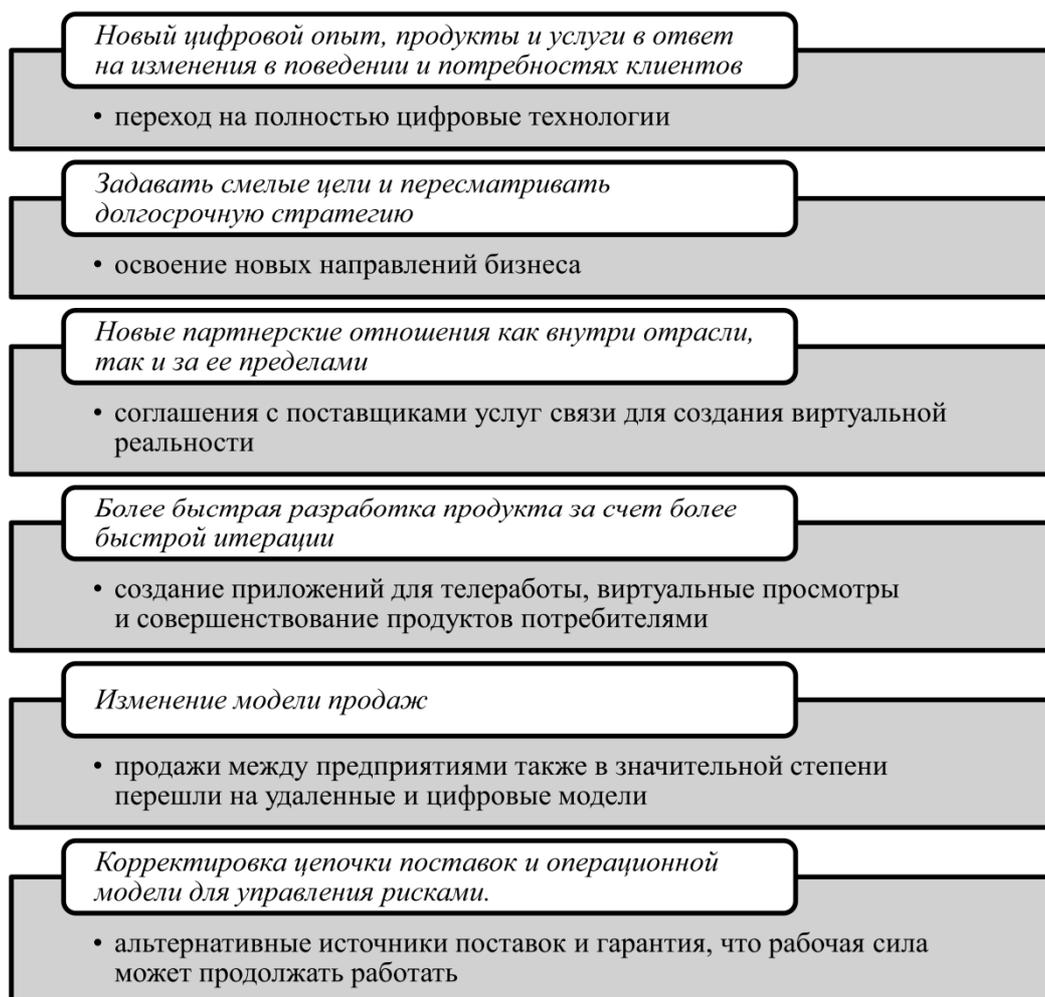


Рис. 5. Новые области современных бизнес-моделей
Fig. 5. New areas of modern business models

Таким образом, на сегодняшний день общими проблемами для предприятий всех отраслей являются: нехватка квалифицированной рабочей силы, проблемы с цепочками поставок, технические, финансовые сложности и ограничения и пр. Они нарастали годами и быстро обострились из-за пандемии и спецоперации на Украине. Лидеры понимают, что им необходимо развиваться – не только для того, чтобы процветать, но и для того, чтобы выжить. Поэтому жизненно важно создание актуальной, динамичной системы антикризисного управления на предприятии.

Список литературы

1. Асаул А.Н. Теория и практика принятия решений по выходу организаций из кризиса / под ред. проф. А.Н. Асаула. СПб.: ИПЭВ, 2017. 412 с.
2. Айвазян З., Кириченко В. Антикризисное управление: принятие решений на краю пропасти // Менеджмент и маркетинг. 2019. № 4. С. 94–103.
3. Механизмы принятия решений в цифровой экономике / С.А. Баркалов, В.Н. Бурков,

О.С. Перевалова, Т.А. Аверина // Тенденции развития интернет и цифровой экономики. Труды III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. 2020. С. 12–16.

4. Моженков В. Эффективный или мертвый. 48 правил антикризисного менеджмента. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2020. 304 с.

5. Баркалов С.А., Давыдова Т.Е., Калинина Н.Ю. Человеческий потенциал в стратегии развития региона: особенности выхода на рынок труда студентов и выпускников вузов // Экономика и менеджмент систем управления. 2019. № 4-1 (34). С. 115–124. DOI: 10.13140/RG.2.2.33996.77444

6. Давыдова Т.Е., Баркалов С.А., Чекамазов А.Н. Направления совершенствования трудовых ресурсов Воронежской области: социальный аспект // Экономика и менеджмент систем управления. 2014. № 4 (14). С. 31–39.

7. Сидорова Е.А., Баутина Е.В., Перевалова О.С. Цифровизация: риски и перспективы развития // Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах. Труды V Международной научно-практической конференции. Новокузнецк, 2021. С. 162–168.

8. Баркалов С.А., Авдеева Е.А., Аверина Т.А. Инновационное управление социальной системой // Анализ, моделирование, управление, развитие социально-экономических систем (АМУР-2020). XIV Всероссийская с международным участием школа-симпозиум: сборник научных трудов. Симферополь, 2020. С. 31–36.

9. Музалев С. В. Рекомендации по использованию западных и российских моделей анализа оценки вероятности банкротства организации // Вестник университета (Государственный университет управления). 2017. № 10 (20). С. 136–145.

10. Бобылева А.З. Антикризисное управление: механизмы государства, технологии бизнеса: в 2 ч. М.: Юрайт, 2020. Ч. 1. 285 с.

11. Инструментальные методы оценки человеческого капитала // Н.В. Яковенко, Т.В. Азарнова, И.Л. Каширина и др. // Теория и прикладные аспекты. Воронеж, 2022.

12. Аверина Т.А., Авдеева Е.А. Разработка измерительной системы инноваций // Экономика и управление системами управления. 2013. № 3-1 (9). С. 130–136.

13. Давыдова Т.Е., Попова А.И., Распопова А.Е. Зеленая экономика в контексте глобального устойчивого развития // Экономинфо. 2020. №1. С. 49–54. DOI: 10.24412/1819-6330-2020-1-49-54

14. Deloitte: [сайт]. URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/digital-acceleration-in-a-changing-world.html>.

15. McKinsey&Company: [сайт]. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/strategic-resilience-during-the-covid-19-crisis>.

References

1. Asaul A.N. *Teorija i praktika prinjatija reshenij po vyhodu organizacij iz krizisa* [Theory and practice of Decision-making on the Exit of Organizations from the Crisis]. Ed. prof. A.N. Asaula. St. Petersburg: IPEV; 2017. 412 p. (In Russ.)

2. Ayvazyan Z., Kirichenko V. [Crisis Management: Decision-making on the Edge of the Abyss]. *Management and Marketing*. 2019;(4):94–103. (In Russ.)

3. Barkalov S.A., Burkov V.N., Perevalova O.S., Averina T.A. [Decision-making Mechanisms in the Digital Economy] In: *Trends in the development of the Internet and the digital economy. Proceedings of the III All-Russian scientific-practical conference with international participation*. 2020. P. 12–16. (In Russ.)

4. Mozhenkov V. *Jefferktivnyj ili mertvyj. 48 pravil antikrizisnogo menedzhmenta* [Effective or Dead. 48 Rules of Crisis Management]. Moscow: Mann, Ivanov and Ferber; 2020. 304 p. (In Russ.)

5. Barkalov S.A., Davydova T.E., Kalinina N.Yu. Human potential in the strategy of development of the region: peculiarities of exiting the labor market of students and graduates of universities. *Economics and management of control systems*. 2019;4-1(34):115–124. (In Russ.) DOI: 10.13140/RG.2.2.33996.77444

6. Davydova T.E., Barkalov S.A., Chekamazov A.N. [Directions for Improving the Labor Resources of the Voronezh Region: social aspect]. *Economics and management of control systems*. 2014;4(14):31–39. (In Russ.)

7. Sidorova E.A., Bautina E.V., Perevalova O.S. [Digitalization: Risks and Development Prospects]. In: *Modeling and science-intensive Information Technologies in Technical and Socio-economic Sys-*

tems. Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Novokuznetsk; 2021. P. 162–168. (In Russ.)

8. Barkalov S.A., Avdeeva E.A., Averina T.A. [Innovative Management of the Social System]. In: *Analysis, modeling, management, development of socio-economic systems (AMUR-2020). XIV All-Russian school-symposium with international participation: collection of scientific papers. Simferopol; 2020. P. 31–36. (In Russ.)*

9. Muzalev S.V. [Recommendations on the Use of Western and Russian Models for Analyzing the Probability of Bankruptcy of an Organization]. *Bulletin of the University (State University of Management). 2017;10(20):136–145. (In Russ.)*

10. Bobyleva A.Z. *Antikrizisnoe upravlenie: mehanizmy gosudarstva, tehnologii biznesa: v 2 ch.* [Crisis Management: State Mechanisms, Business Technologies: in 2 parts. Part 1]. Moscow: Yurayt; 2020. 285 p. (In Russ.)

11. Yakovenko N.V., Azarnova T.V., Kashirina I.L., Bondarenko Yu.V., Shchepina I.N., Markov D.S., Safonova I.V. [Instrumental Methods for Assessing Human Capital]. Theory and Applied Aspects. Voronezh; 2022. (In Russ.)

12. Averina T.A., Avdeeva E.A. [Development of a Measuring System of Innovations]. *Economics and Management of Control Systems. 2013;3-1(9):130–136. (In Russ.)*

13. Davydova T.E., Popova A.I., Raspopova A.E. [Green Economy in the Context of Global Sustainable Development]. *Ekonominfo. 2020;(1):49–54. (In Russ.) DOI: 10.24412/1819-6330-2020-1-49-54*

14. Deloitte: website. Available at: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/digital-acceleration-in-a-changing-world.html>.

15. McKinsey&Company: website. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/strategic-resilience-during-the-covid-19-crisis>.

Информация об авторах

Аверина Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доц., доц. кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; ta_averina@mail.ru.

Авдеева Елена Александровна, канд. экон. наук, доц., доц. кафедры цифровой и отраслевой экономики, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; avdeeva_ea@mail.ru.

Курбатова Татьяна Михайловна, студент кафедры управления, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия; elena-h@mail.ru.

Information about the authors

Tatiana A. Averina, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; ta_averina@mail.ru.

Elena A. Avdeeva, Cand. Sci. (Econ), Ass. Prof., Ass. Prof. of the Department of Digital and Industrial Economics, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; avdeeva_ea@mail.ru.

Tatyana M. Kurbatova, Student of the Department of Management, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia; elena-h@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 26.06.2022

The article was submitted 26.06.2022

Автоматизированные системы управления технологическими процессами Automated process control systems

Научная статья

УДК 681.5.011 + 532.5 + 533.6.011.12

DOI: 10.14529/ctcr220313

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ УЧЕБНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

К.В. Осинцев, osintsev2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0791-2980>

С.И. Кускарбекова, sulpan.kuskarbekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7171-6661>

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Учебный лабораторный стенд создан для имитации работы прямоточного котла с целью изучения гидравлических и теплофизических процессов, происходящих в таких устройствах. Изучив гидродинамику теплоносителя в цилиндрическом сложном змеевике, можно повлиять на паропроизводительность котла, улучшить его энергоэффективность. В учебных целях обучающийся может изучить режимы течения жидкости и воздуха, научиться управлять электрооборудованием, освоить работу запорно-регулирующей арматуры и проборов для измерения расхода, температуры и давления. **Цель работы** заключается в проектировании, создании и запуске учебного лабораторного стенда, который позволяет воспроизвести гидравлический и аэродинамический режимы работы прямоточного парового котла змеевикового типа без нагрева теплоносителя. **Материалы и методы.** Для проектирования была принята за основу модель реального парового котла змеевикового типа и адаптирована под условия эксплуатации для проведения лабораторных работ. **Результаты.** В качестве результата представлены тепломеханические схемы гидравлической и аэродинамической систем, алгоритм работы гидравлической системы, схема автоматизации, а также перечень подобранного оборудования и фото собранного лабораторного стенда. **Заключение.** Современные приборы автоматизации могут позволить снять показания теплоносителя и воздуха с высокой точностью, а также передать экспериментальные значения на персональный компьютер для сохранения и последующего анализа данных. Учебный лабораторный стенд позволит провести углубленное изучение гидравлических и аэродинамических процессов в прямоточном паровом котле змеевикового типа, процессы изменения и возникновения ламинарного и турбулентного режимов, а также их влияние на повышение энергоэффективности рассматриваемых котлов, а в перспективе и на отдельное теплообменное оборудование.

Ключевые слова: прямоточный котел, лабораторный стенд, программируемый логический контроллер, автоматизация

Для цитирования: Осинцев К.В., Кускарбекова С.И. Разработка автоматизированной системы управления для учебного лабораторного стенда // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 141–150. DOI: 10.14529/ctcr220313

Original article

DOI: 10.14529/ctcr220313

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR AN EDUCATIONAL LABORATORY STAND

K.V. Osintcev, osintsev2008@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0791-2980>

S.I. Kuskarbekova, sulpan.kuskarbekova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7171-6661>

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The training laboratory stand was created to simulate the operation of a direct-flow boiler, in order to study the hydraulic and thermophysical processes occurring in such devices. Having studied

© Осинцев К.В., Кускарбекова С.И., 2022

the hydrodynamics of the coolant in a cylindrical composite coil, it is possible to influence the steam capacity of the boiler, improve its energy efficiency. For educational purposes, the student can study the flow modes of liquid and air, learn how to control electrical equipment, master the operation of shut-off valves and parting devices for measuring flow, temperature and pressure. **The purpose** of the work is to design, create and launch an educational laboratory stand that allows you to reproduce the hydraulic and aerodynamic modes of operation of a direct-flow steam boiler of a coil type without heating the coolant. **Methods.** For the design, a model of a real coil-type steam boiler was taken as a basis and adapted to the operating conditions for laboratory work. **Results.** As a result, thermal mechanical schemes of hydraulic and aerodynamic systems, the algorithm of the hydraulic system, the automation scheme, as well as a list of selected equipment and photos of the assembled laboratory stand are presented. **Conclusion.** Modern automation devices can make it possible to take readings of the coolant and air with high accuracy, as well as transfer experimental values to a personal computer for data storage and subsequent analysis. The educational laboratory stand will allow for an in-depth study of hydraulic and aerodynamic processes in a direct-flow steam boiler of the coil type, the processes of change and occurrence of laminar and turbulent modes, as well as their impact on improving the energy efficiency of the boilers in question, and in the future on separate heat exchange equipment.

Keywords: direct-flow boiler, laboratory stand, programmable logic controller, automation

For citation: Osintcev K.V., Kuskarbekova S.I. Development of an automated control system for an educational laboratory stand. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):141–150. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220313

Введение

Прямоточные паровые котлы змеевикового типа нашли широкое применение в промышленности, в жилищной сфере, в строительстве. Особенностью прямоточных котлов является факт превращения теплоносителя в пар за один ход. Данный фазовый переход представляет научный интерес, как и перспектива интенсификации парообразования в паровых прямоточных котлах с улучшением работоспособности и обслуживания данных устройств [1–3].

Для наблюдения с последующими возможными научными предложениями по улучшению работы прямоточного котла змеевикового типа был создан учебный лабораторный стенд. Лабораторный стенд имитирует движение жидкого теплоносителя по змеевику, а движение дымовых газов через змеевики симулирует вихревой поток воздуха, который нагнетается вентилятором. Таким образом, лабораторный стенд представляет собой упрощенную версию котла, объединяя в себе две системы: гидравлическую и аэродинамическую.

Разработанные лабораторные практикумы направлены на изучение следующих тем [4, 5]:

- Исследование режимов течения жидкости и воздуха;
- Управление насосом и вентилятором;
- Исследование работы приборов для измерения скорости движения, объема и температуры воздуха и жидкости в системах.

1. Постановка задачи

Необходимо спроектировать, подобрать оборудование, выполнить монтаж и наладку системы автоматического управления учебного лабораторного стенда, который повторяет работу прямоточного котла змеевикового типа в режиме холостого хода без нагрева теплоносителя.

Основная задача: подобрать устройство со встроенным аппаратным и программным обеспечением. Устройство должно быть предназначено для управления последовательными логическими процессами в реальном масштабе времени. Для подбора основного оборудования важную роль играет количество входных переменных X_1, X_2, \dots, X_n : давление воды, скорость двигателя, а также возможное подключение новых параметров, и в соответствии с требованиями процесса возможные изменения состояния выходов Y_1, Y_2, \dots, Y_n : регулирование давления гидравлической системы, изменение частоты вращения двигателя и др [6]. При выборе оборудования также необходимо учесть оптимальное соотношение «цена – производительность».

2. Теоретическая часть

Описание схем гидравлической и аэродинамической систем стенда

Гидравлическая система стенда представлена на рис. 1 [7, 8].

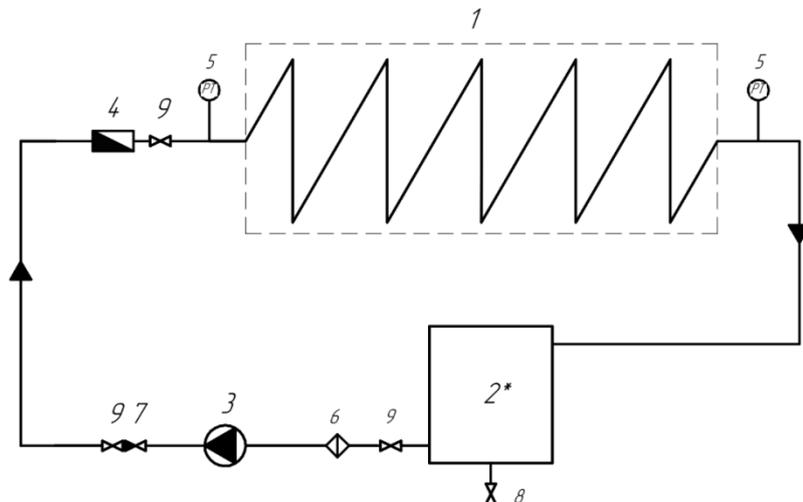


Рис. 1. Схема гидравлической системы лабораторного стенда: 1 – змеевик; 2 – емкость питательной воды; 3 – насос; 4 – расходомер; 5 – датчик давления; 6 – фильтр-грязевик; 7 – обратный клапан; 8 – кран шаровый (слив); 9 – кран шаровый
 Fig. 1. Diagram of the hydraulic system of the laboratory stand: 1 – coil; 2 – feed water tank; 3 – pump; 4 – flow meter; 5 – pressure sensor; 6 – sump filter; 7 – check valve; 8 – ball valve (drain); 9 – ball valve

Вода подается в навитый змеевик с помощью насоса из емкости питательной воды. Контур является замкнутым, вода возвращается в емкость после полного хода по змеевику. Для фиксирования параметров расхода жидкости предусмотрена установка расходомера при ручном управлении, но для автоматизации стенда необходимо выполнить вывод показателей на экран ПК при помощи программного обеспечения.

Схема аэродинамической системы изображена на рис. 2.

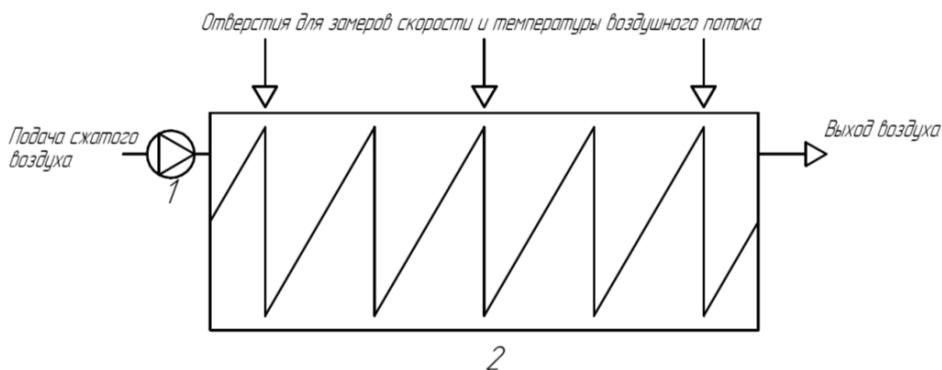


Рис. 2. Схема аэродинамической системы лабораторного стенда:
 1 – вентилятор; 2 – цилиндр со змеевиком
 Fig. 2. Diagram of the aerodynamic system of the laboratory stand:
 1 – fan; 2 – cylinder with coil

Нагнетание воздуха осуществляется через канал в крышке цилиндра с помощью вентилятора. Воздух проходит между змеевиками и выходит с другой стороны цилиндра через предусмотренное отверстие во второй крышке цилиндра. Замер таких параметров, как скорость и температура потока воздуха, предусмотрен с помощью анемометра. Анемометр оснащен телескопическим зондом, который можно помещать в специальные отверстия в цилиндре, тем самым выполняя замеры в разных участках вихревого воздушного потока. Управление анемометром осуществляется с помощью смартфона. Современные функции программы прибора позволяют выполнить выгрузку сводных таблиц с экспериментальными значениями на ПК.

Алгоритм работы стенда

В качестве регулируемой переменной выбрана частота вращения двигателя насоса. Зависимыми переменными являются скорость движения и расход теплоносителя, давление в змее-

вике (1). Показателем безопасной работы гидравлической системы является параметр давления (p , МПа) [9–11].

$$\begin{cases} \omega = f(v)dt; \\ H = f(\omega)dt; \\ Q = f(\omega)dt. \end{cases} \quad (1)$$

В соответствии с поставленной задачей на рис. 3 представлена блок-схема работы лабораторного стенда по гидравлической системе [12, 13].

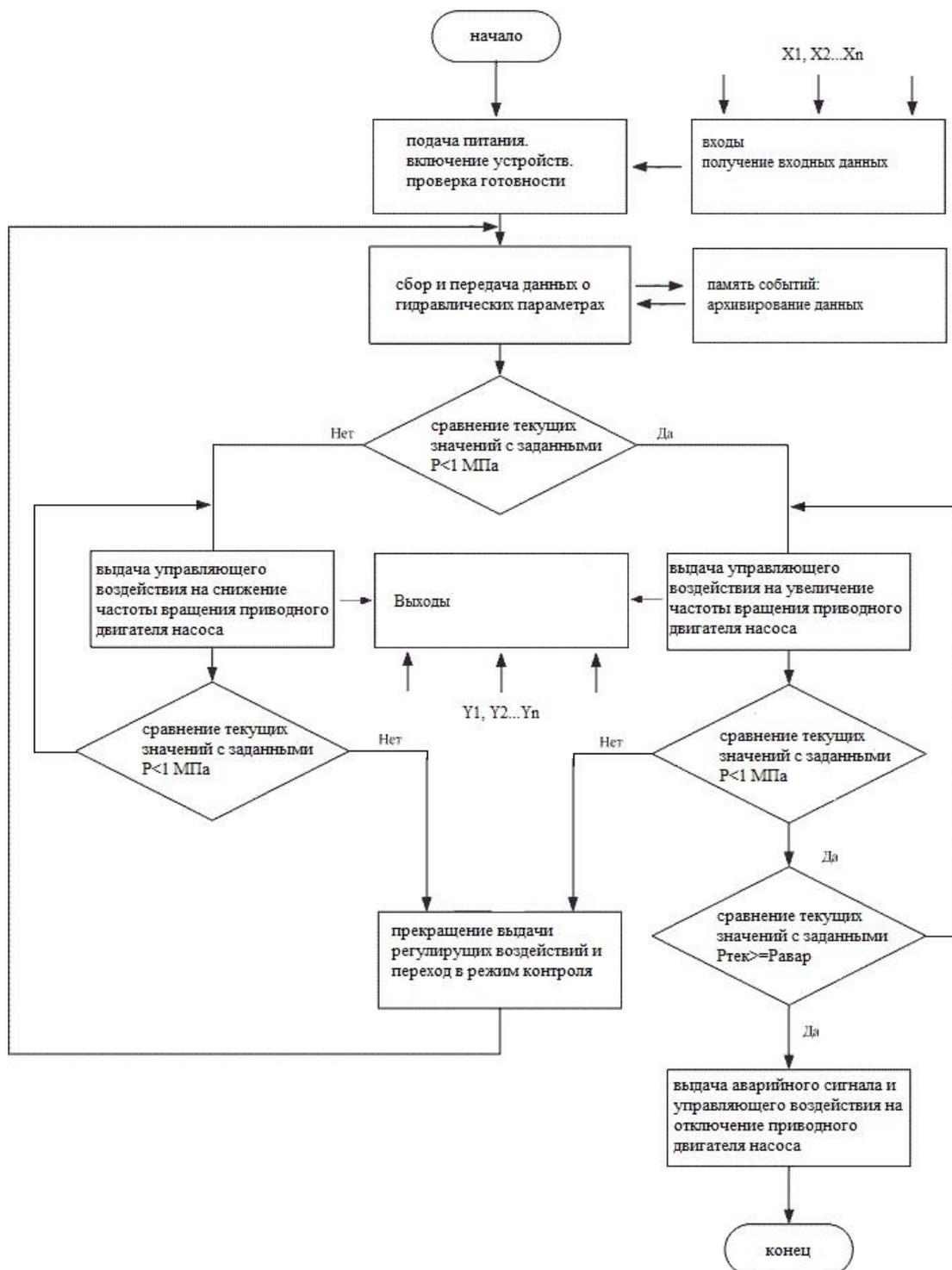


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы лабораторного стенда по гидравлической системе
Fig. 3. Flowchart of the algorithm for the operation of the laboratory stand on the hydraulic system

Аэродинамическая система не нуждается в контроле по давлению, так как скорость потока воздуха от подобранного вентилятора мала (проведено тестирование металлоконструкции на этапе сборки), поэтому воздействия на стенки стенда несущественны и не требуют предупредительных сигналов со стороны системы управления.

По условиям поставленной задачи функциональную схему системы управления для гидравлической части лабораторного стенда можно изобразить, как на рис. 4 [14].



Рис. 4. Функциональная схема системы управления
Fig. 4. Functional diagram of the control system

Расчеты по наблюдаемым параметрам переходного гидравлического процесса при включении двигателя до максимальных параметров представлены на графике (рис. 5) [15].

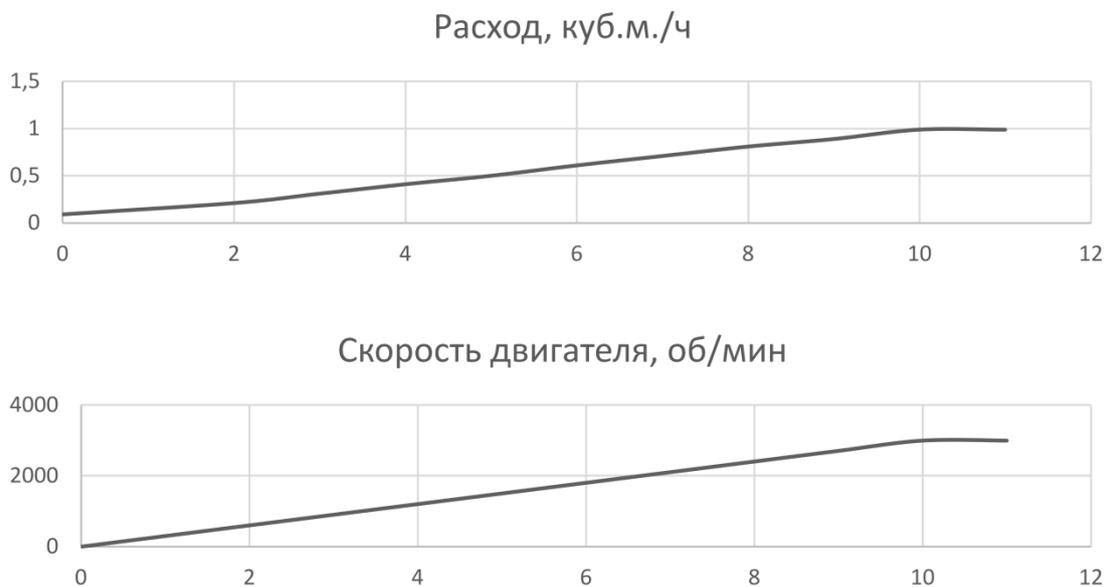


Рис. 5. Графики переходного гидравлического процесса
Fig. 5. Graphs of the transient hydraulic process

Электрическая схема и подбор оборудования

При проектировании электрической схемы (рис. 6) учитывалось, что учебный лабораторный стенд должен включать оборудование, необходимое для автоматического управления при помощи программного обеспечения на ПК (персональный компьютер) для создания человеко-машинного интерфейса (для визуализации процесса, управления, а также отображения, архивирования и протоколирования сообщений от процесса), но также должно быть предусмотрено ручное управление [16].

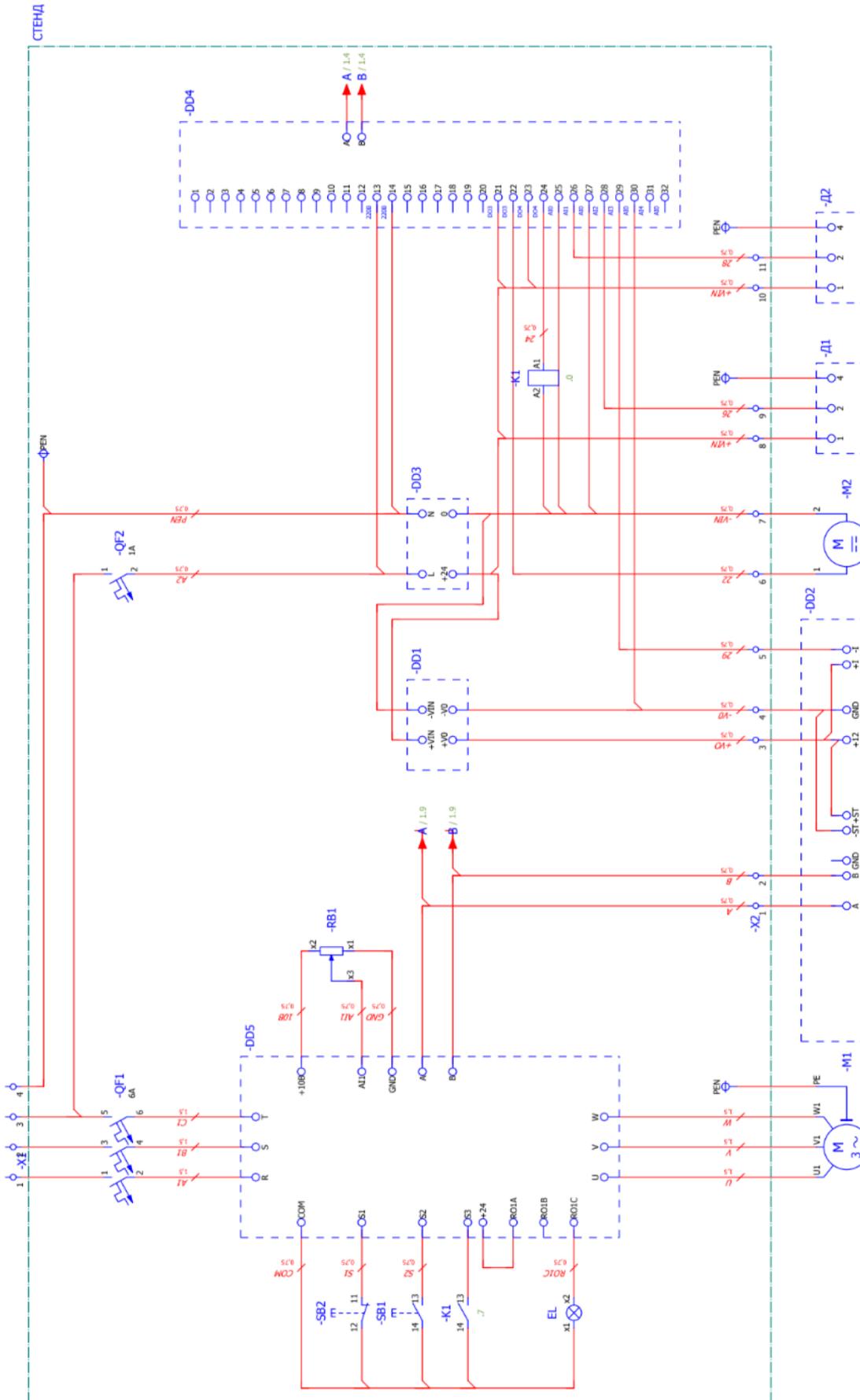


Рис. 6. Электрическая схема лабораторного стенда
 Fig. 6. Electrical diagram of the laboratory stand

3. Практическая часть

Управляющим устройством выбран программируемый логический контроллер марки ОВЕН с CoDeSys V2.3 (интегрированная среда разработки (IDE) приложений для программируемых контроллеров). Для измерения расхода подобран электромагнитный преобразователь расхода марки МастерФлоу. В качестве гидравлического устройства выбран вихревой поверхностный насос фирмы Pedrollo. Для контроля давления подобраны датчики давления ДДМ-1010. Для замера скорости воздуха приобретен анемометр смарт-зонд фирмы TESTO, который отправляет данные на смартфон, а полную информацию можно скачать на ПК. Для автоматического регулирования частоты вращения электродвигателей переменного тока подобрано устройство фирмы МОМЕНТУМ – преобразователь частоты МТ-100 (далее по тексту – ПЧ).

Для размещения оборудования спроектирована общая рабочая зона – металлический стол с прикрепленными кронштейнами для моноблока, насоса, шкафа управления, расходомера и другого вспомогательного оборудования. Произведена сборка и наладка лабораторного стенда (рис. 7).

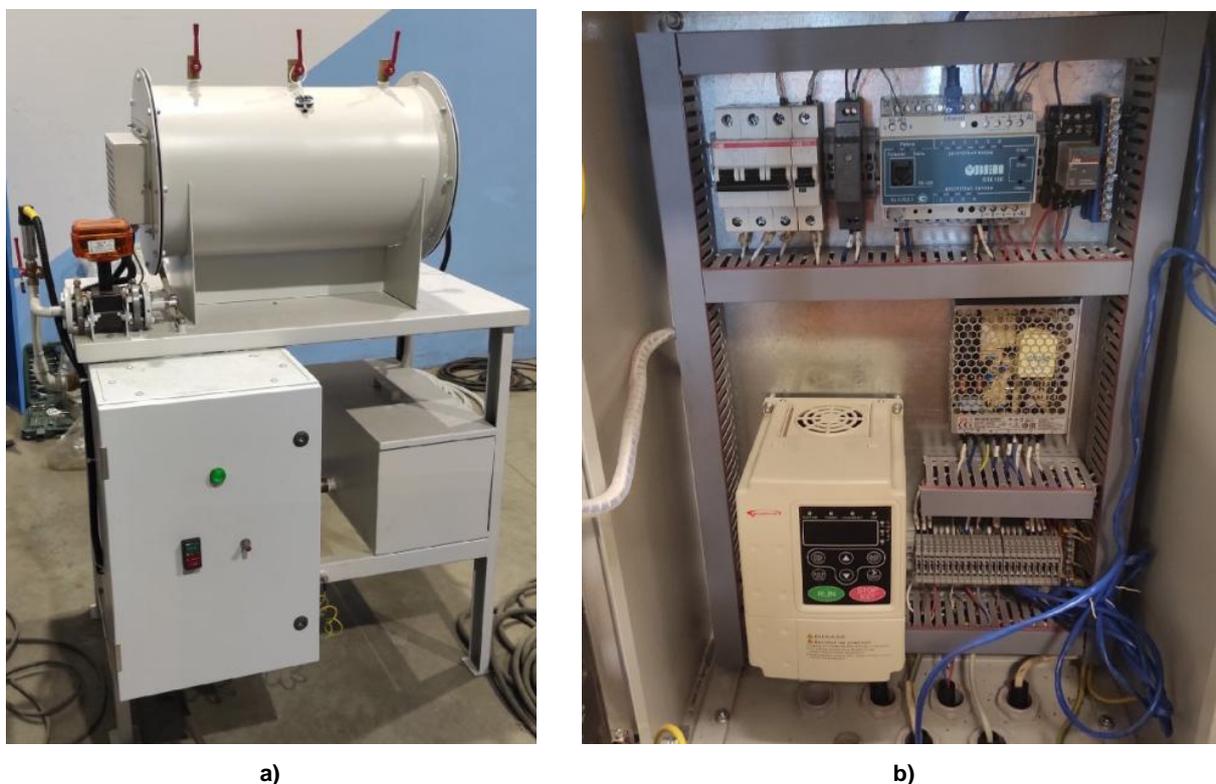


Рис. 7. Фото лабораторного стенда: а – лабораторный стенд (общий вид); б – фото шкафа управления
Fig. 7. Photo of the laboratory stand: a – laboratory stand (general view); b – photo of the control cabinet

Произведены испытания гидравлической системы стенда при разных скоростях двигателя насоса. Регулирование производилось с помощью ПК и контроллера через программу VinCC. Рабочий стол на ПК (рис. 8) для автоматического регулирования отображает гидравлическую схему, основные параметры (1), кнопки «пуск ПЧ» и «стоп ПЧ», графики изменения процесса в соответствии с рис. 5.

Рабочий стол виртуального управления предполагает запуск ПЧ (готовность к работе), задание скорости электродвигателя (обороты в минуту). Текущие значения скорости на виртуальном рабочем столе меняются в реальном времени, но с задержкой в пару секунд. На схеме отображена сигнальная лампа о включении насоса, фиксируются онлайн-значения расхода (кубические метры в час) и давления на входе в змеевик (кПа). Запись и сохранение экспериментальных значений осуществляется в журнал в формате Excel на подключенном ПК.

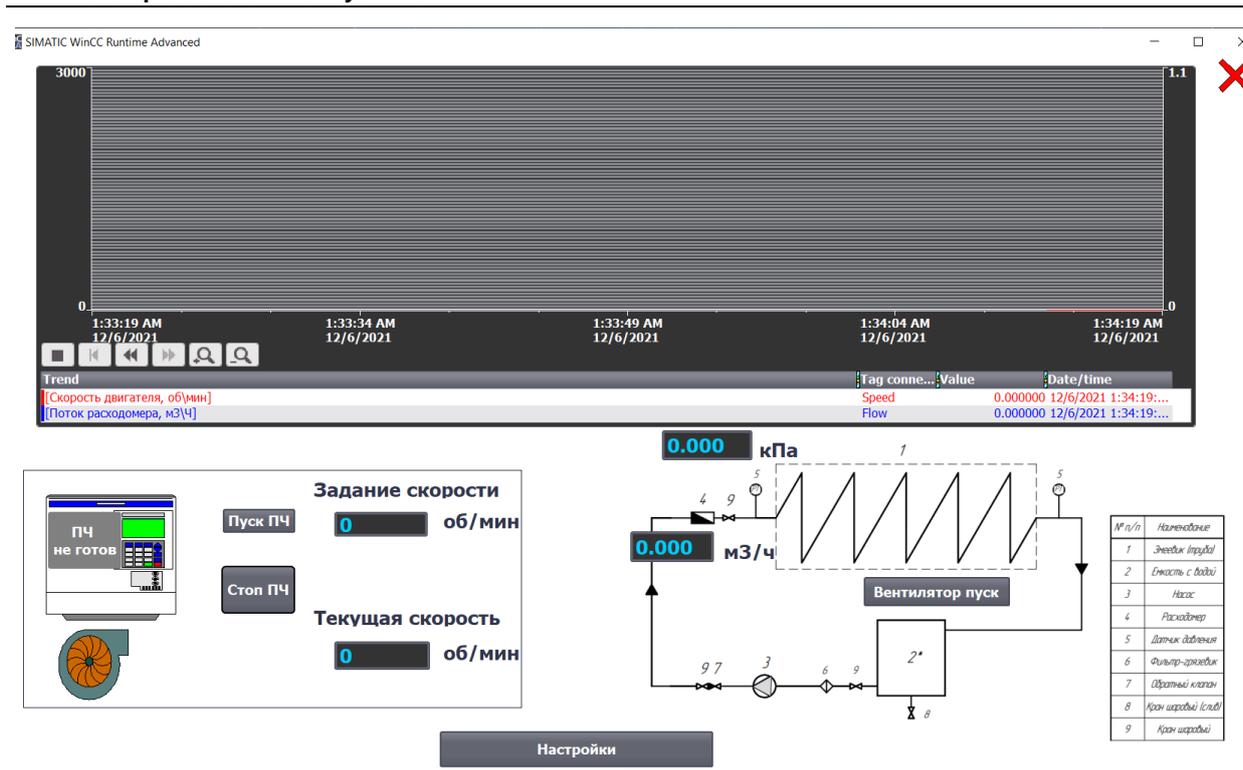


Рис. 8. Рабочий стол виртуального управления лабораторным стендом
Fig. 8. Virtual control desk of the laboratory stand

Заключение

Спроектированная и собранная система автоматического управления учебным лабораторным стендом, разработанная через программу WinCC для программируемого логического контроллера ОВЕН, согласно результатам наладки, готова к работе.

Список литературы

1. Дудкин М.М., Осинцев К.В., Кускарбекова С.И. Опытное исследование работы парового котла змеевикового типа при эксплуатации на северном нефтяном месторождении // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2019. Т. 19, № 4. С. 14–25. DOI: 10.14529/power190402
2. Зыков А.К. Паровые и водогрейные котлы: справ. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: НПО ОБТ, 1995. 119 с.
3. Петухов Б.С. Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении жидкости в трубах. М.: Энергия, 1967. 409 с.
4. Germano M. The Dean equations extended to a helical pipe flow // Journal of Fluid Mechanics. June 1989. Vol. 203. P. 289–305. DOI: 10.1017/S0022112089001473
5. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам: Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы / под общ. ред. П.Л. Кириллова. М.: Энергоатомиздат, 1984. 296 с.
6. Свободно программируемые устройства в автоматизированных системах управления: учеб. пособие / И.Г. Минаев, В.В. Самойленко, Д.Г. Ушкур, И. В. Федоренко. Ставрополь: СтГАУ, 2016. 168 с.
7. Mori Y, Nakayama W. Study on Forced Convective Heat Transfer in Curved Pipes. International Journal of Heat and Mass Transfer. 1965. Vol. 8. P. 67–82. DOI: 10.1016/0017-9310(65)90098-0
8. Багоутдинова А.Г., Золотоносов Я.Д. Змеевиковые теплообменники и их математическое описание // Известия вузов. Строительство. 2015. № 7. С. 44–52.
9. Сопряженная задача теплообмена при течении жидкостей в змеевиках с изменяющимся радиусом изгиба винтовой спирали / Е.К. Вачагина, А.Г. Багоутдинова, Я.Д. Золотоносов, И.А. Князева // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18, № 16. С. 234–238.

10. Назмеев Ю.Г. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков реологически сложных сред. М.: Энергоиздат., 1966. 368 с.
11. Аронов И.З. О гидравлическом подобии при движении жидкости в изогнутых трубах-змеевиках // Известия вузов. Энергетика. 1962. № 4. С. 52–59.
12. Дудкин М.М., Осинцев К.В., Кускарбекова С.И. Разработка методологических основ исследования процессов парообразования при движении многокомпонентной жидкости в прямоточных котлах змеевикового типа методами математического моделирования // Промышленная энергетика. 2020. № 11. С. 16–24. DOI: 10.34831/EP.2020.16.79.003
13. Булкин А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок: учеб. пособие. М.: МЭИ, 2016. 508 с.
14. Федотов А.В., Хомченко В.Г. Компьютерное управление в производственных системах: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2021. 620 с.
15. Пат. 2694890. Российская Федерация. Электронагреватель жидкости / К.В. Осинцев, В.В. Осинцев, В.И. Богаткин, Е.В. Торопов, С.И. Кускарбекова; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ). № 2018143417; заявл. 06.12.2018; опубл. 18.07.2019. 8 с.
16. Немченко В.И., Епифанова Г.Н. Проектирование функциональных и принципиальных электрических схем автоматизированных систем управления: учеб. пособие. 2-е изд. Самара: АСИ СамГТУ, 2017. 60 с.

References

1. Dudkin M.M., Osintsev K.V., Kuskarbekova S.I. Experimental Investigation of Coil Type Steam Generator Performance when Used in North Oil Fields. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2019;19(4):14–25. (In Russ.) DOI: 10.14529/power190402
2. Zykov A.K. *Parovye i vodogreynnye kotly: spravochnoe posobie* [Steam and hot water boilers: reference manual]. Moscow: NPO OBT Publ.; 1995. 119 p. (In Russ.)
3. Petukhov B.S. *Teploobmen i soprotivlenie pri laminarnom techenii zhidkosti v trubakh* [Heat transfer and resistance during laminar fluid flow in pipes]. Moscow: Energiya Publ.; 1967. 409 p. (In Russ.)
4. Germano M. The Dean equations extended to a helical pipe flow. *Journal of Fluid Mechanics*. June 1989;203:289–305. DOI: 10.1017/S0022112089001473
5. Kirillov P.L., Yur'ev Yu.S., Bobkov V.P. *Spravochnik po teplogidravli-cheskim raschetam: yadernye reaktory, teploobmenniki, parogeneratory* [Handbook of thermohydraulic calculations: nuclear reactors, heat exchangers, steam generators]. Moscow: Energoatomizdat Publ.; 1984. 296 p. (In Russ.)
6. Minaev I.G., Samoylenko V.V., Ushkur D.G., Fedorenko I.V. *Svobodno programmiruemye ustroystva v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniya* [Freely programmable devices in automated control systems]. Stavropol: StGAU Publ.; 2016. 168 p. (In Russ.)
7. Mori Y, Nakayama W. Study on Forced Convective Heat Transfer in Curved Pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 1965;8:67–82. DOI: 10.1016/0017-9310(65)90098-0
8. Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D. Coil heat exchangers and their mathematical description. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of universities. Construction]. 2015;(7):44–52. (In Russ.)
9. Vachagina E.K., Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Knyazeva I.A. [The conjugate problem of heat exchange during the flow of liquids in coils with a varying bending radius of a helical spiral]. *Herald of Technological University*. 2015;18(16):234–238. (In Russ.)
10. Nazmееv Yu.G. *Gidrodinamika i teploobmen zakruchennykh potokov reologicheskikh sred* [Hydrodynamics and heat exchange of swirling flows of rheologically complex media]. Moscow: Energoizdat Publ.; 1966. 368 p. (In Russ.)
11. Aronov I.Z. [About hydraulic similarity in fluid motion in curved coil pipes]. *Izvestiya Vuzov. Energetika* [News of Universities. Energy]. 1962;(4):52–59. (In Russ.)
12. Dudkin M.M., Osintsev K. V., Kuskarbekova S. I. [Development of methodological foundations for the study of vaporization processes during the movement of a multicomponent liquid in direct-flow coil-type boilers by mathematical modeling methods]. *Industrial Power Engineering*. 2020;(11):16–24. (In Russ.) DOI: 10.34831/EP.2020.16.79.003

13. Bulkin A.E. *Avtomaticheskoye regulirovaniye energoustanovok: uchebnoe posobiye* [Automatic regulation of power plants: textbook]. Moscow: MEI Publ.; 2016. 508 p. (In Russ.)
14. Fedotov A.V., Khomchenko V.G. *Komp'yuternoye upravleniye v proizvodstvennykh sistemakh: ucheb. posobiye dlya vuzov* [Computer control in production systems]. St. Petersburg: Lan' publ.; 2021. 620 p. (In Russ.)
15. Osintsev K.V., Osintsev V.V., Bogatkin V.I., Toropov E.V., Kuskarbekova S.I. *Elektronagrevatel' zhidkosti* [Electric liquid heater]. Patent RF, no. 2694890, 2019. (In Russ.)
16. Nemchenko V.I., Epifanova G.N. *Proyektirovaniye funktsional'nykh i printsipial'nykh elektricheskikh skhem avtomatizirovannykh sistem upravleniya: ucheb. posobiye* [Design of functional and basic electrical circuits of automated control systems]. Samara: ASI SamGTU Publ.; 2017. 60 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Осинцев Константин Владимирович, канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; osintsev2008@yandex.ru.

Кускарбекова Сулпан Ириковна, аспирант, кафедра промышленной теплоэнергетики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; sulpan.kuskarbekova@mail.ru.

Information about the authors

Konstantin V. Osintsev, Cand. Sci. (Econ), Ass. Prof., Head of the Department of Industrial Heat Power Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; osintsev2008@yandex.ru.

Sulpan I. Kuskarbekova, Postgraduate Student of the Department Industrial Heat Power Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; sulpan.kuskarbekova@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 07.05.2022

The article was submitted 07.05.2022

Краткие сообщения Brief reports

Brief report

DOI: 10.14529/ctcr220314

THE INTELLECTUAL SUPPORT EFFICIENCY METHODS EVALUATION IN THE SPHERE OF SOCIAL INFRASTRUCTURE ACCESSIBILITY MANAGING FOR LOW-MOBILE POPULATION GROUPS

A.V. Hollay¹, alexander@hollay.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5070-6779>

A.O. Tashkin^{1, 2}, anozer_sky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8231-8703>

¹ South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

² ANO "Public Initiatives Center "MIR", Khanty-Mansiysk, Russia

Abstract. Modern society significant part is made up of People with Limited Mobility (PLM). This category of citizens is limited in movement and experiences problems of interaction with social infrastructure: first of all, these are people with disabilities (disabled people), who, according to the World Health Organization (WHO), make up more than 15% of the world's population, as well as people moving, for example, from baggage or stroller. Researchers identify three main problems in the interaction of PLM with social infrastructure: the first is related to the physical barriers of social infrastructure facilities (SIF) the second is the inaccessibility of information about SIF, and the third includes a number of social problems caused by the attitude towards PLM within society. Efficiency improving in the field of urban management and ensuring the information availability of SIF for PLM is possible through the use of geographic information technologies, electronic maps and digital city information systems, as well as specialized decision support systems. **The purpose of research** is to solve an urgent scientific and technical problem of implementing a support system for making informed management decisions in the field of ensuring the availability of information systems for PLM, as well as developing a methodology for assessing the effectiveness of the DSS. **Materials and methods.** Control theory for the development of an intelligent decision support method, software and hardware implementation tools, as well as an analytical, computational and graphical method for evaluating the effectiveness of development. **Results.** A DSS has been developed in the field of managing the availability of SIF for PLM. An assessment of the DSS functioning quality and efficiency was made, the analytical and graphical results of the efficiency assessment were reflected. **Conclusion.** The paper describes a methodology for the development of a DSS for managing the accessibility of SIF for PLM, including the introduction into the existing urban management system and evaluating the effectiveness of intellectual support methods in managing the accessibility of social infrastructure for PLM.

Keywords: DSS, management, intellectual support, decision-making, map, accessibility, territory, PLM, SIF, efficiency, quality

Acknowledgments: The research was carried out with the support of the Russian Science Foundation as part of a scientific project No. 22-11-20031.

For citation: Hollay A.V., Tashkin A.O. The intellectual support efficiency methods evaluation in the sphere of social infrastructure accessibility managing for low-mobile population groups. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3):151–162. DOI: 10.14529/ctcr220314

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПНОСТЬЮ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ДЛЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ

А.В. Голлай¹, alexander@hollay.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5070-6779>

А.О. Ташкин^{1,2}, anozer_sky@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8231-8703>

¹ Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

² АНО «Центр общественных инициатив «МИР», Ханты-Мансийск, Россия

Аннотация. Значительную часть современного общества составляют маломобильные группы населения (далее МГН). Данная категория граждан ограничена в перемещении и испытывает проблемы взаимодействия с социальной инфраструктурой: в первую очередь это лица с ограниченными возможностями (инвалиды), составляющие по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) более 15 % населения мира, а также лица, перемещающиеся, например, с багажом или коляской. Исследователи выделяют три основные проблемы взаимодействия МГН с социальной инфраструктурой: первая связана с физическими барьерами объектов социальной инфраструктуры (далее ОСИ), вторая заключается в недоступности информации об ОСИ, а третья включает ряд социальных проблем, вызванных отношением к МГН внутри общества. Эффективность решений в области обеспечения информационной доступности ОСИ для МГН может быть повышена за счет использования электронных карт городских территорий и ОСИ (цифровой город). Применение электронных карт в задачах анализа геопространственных данных возможно реализовать за счет проведения исследований и разработок в области геоинформационных технологий. **Целью исследования** является решение актуальной научно-технической проблемы реализации системы поддержки принятия обоснованных управленческих решений в области обеспечения доступности ОСИ для МГН, а также разработка методики оценки эффективности функционирования системы поддержки принятия решений. **Материалы и методы:** теория управления для разработки метода интеллектуальной поддержки принятия решений, программно-технические средства реализации, а также аналитический, вычислительный и графический метод оценки эффективности разработки. **Результаты.** Разработана СППР в области управления доступностью ОСИ для МГН. Произведена оценка качества и эффективности функционирования СППР, отражены аналитические и графические результаты оценки эффективности. **Заключение.** В работе описана методика разработки СППР управления доступностью ОСИ для МГН, включая внедрение в существующую систему управления городским хозяйством и оценку эффективности методов интеллектуальной поддержки при управлении доступностью социальной инфраструктуры для МГН.

Ключевые слова: СППР, управление, интеллектуальная поддержка, принятие решений, карта, доступность, территория, МГН, ОСИ, эффективность, качество

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 22-11-20031.

Для цитирования: Hollay A.V., Tashkin A.O. The intellectual support efficiency methods evaluation in the sphere of social infrastructure accessibility managing for low-mobile population groups // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 151–162. DOI: 10.14529/ctcr220314

Introduction

Modern society significant part is made up of People with Limited Mobility (PLM). This category of citizens is limited in movement and experiences problems of interaction with social infrastructure: first of all, these are people with disabilities (disabled people), who, according to the World Health Organization (WHO), make up more than 15% of the world's population, as well as people moving, for example, from baggage or stroller. Researchers identify three main problems in the interaction of PLM

with social infrastructure: the first is related to the physical barriers of social infrastructure facilities (SIF) the second is the inaccessibility of information about SIF, and the third includes a number of social problems caused by the attitude towards PLM within society. Efficiency improving in the field of urban management and ensuring the information availability of SIF for PLM is possible through the use of geographic information technologies, electronic maps and digital city information systems, as well as specialized decision support systems [1, 2].

The city can be viewed as an artificially created complex organizational system to meet the expanding needs of the population. The urban economy or its part, including elements of the urban environment, social infrastructure facilities and the population, can be represented using the theory of organizational systems [3].

The decision-making process in urban management in order to ensure high-quality social effects related to territorial planning, budgeting, operational information and other tasks in the management of social infrastructure facilities (SIF) of the city and affects a wide range of processes associated with the accumulation, processing and analysis of data on the urban environment, the characteristics of the SIF, public opinion, as well as the control of the correctness of the management process by federal and municipal authorities [4]. The field of urban and real estate management covers the interests of individuals and organizations with a variety of purposes, including enterprises engaged in property management, management companies and housing and communal services, authorities and the public, which have individual requirements for an automation system.

The processes of information provision, processing and analysis of data aimed at supporting decision-making in the field of managing the availability of SIF for PLM are laborious and require a long processing time due to the large volume, and are also difficult to identify and compare due to receipt from several sources, which leads to errors and incorrect management decisions. Today, information portals have been created in many municipalities of Russia, the purpose of which is to meet the information needs in the field of accessibility of the SIF for PLM. However, often such resources do not have data analysis tools and solve a limited number of problems. Equipping government bodies and housing and communal services with decision support systems (DSS) is an urgent task due to the large volume of semi-structured data and the need for analytical and computational procedures for making management decisions. Fig. 1 shows the conceptual model of the DSS [5, 6].

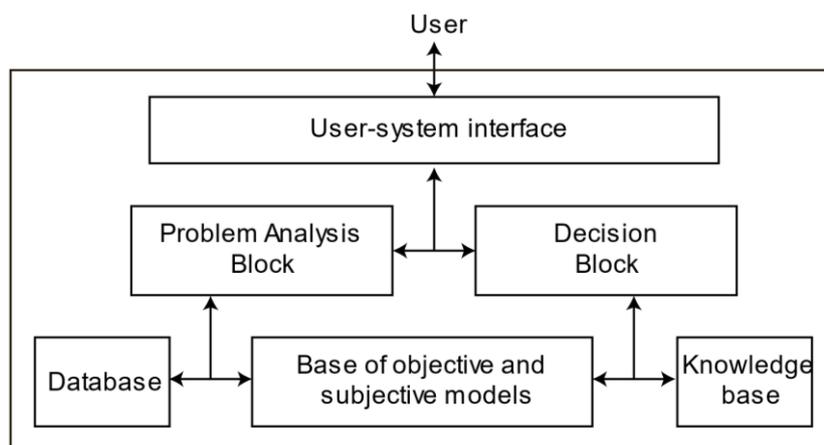


Fig. 1. DSS conceptual model

Methods

The problem of accessibility information inaccessibility of social infrastructure facilities for people with disabilities in many countries is an urgent social task supported by the state and public associations. (Fig. 2). Public authorities ensure the development and development of information resources aimed at solving the problem of information accessibility about the SIF. Such resources are often referred to as Disabled maps [7, 8].

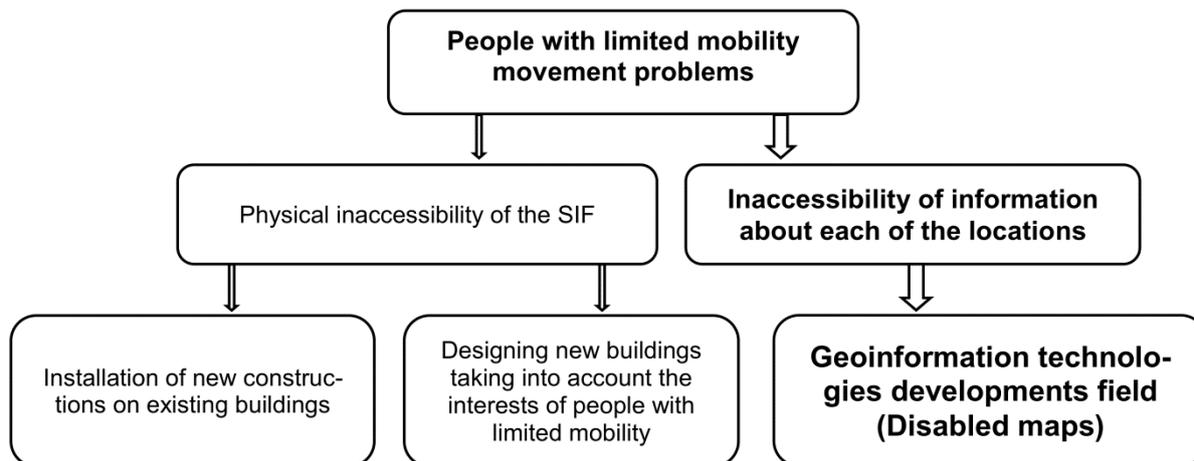


Fig. 2. Flowchart of SIF accessibility problems for PLM

The decision support process in the field of ensuring the social infrastructure availability is associated with the identification of structural features in unstructured territorial socio-economic data, complex indicators of SIF and territories, as well as spatial data coming dynamically from various sources. The main idea of the proposed decision support method is to solve two main tasks [9]:

1. Consideration and search of social infrastructure objects on the map and sorting by accessibility levels and other parameters. This problem is solved by means of GIS and spatial analysis.

2. The research of structured arrays of attributive, spatial and socio-economic data regarding the accessibility of the SIF. The problem is solved with the help of mathematical methods and algorithms for processing semantic and numerical data.

From the point of view of the scientific and methodological foundations for supporting the adoption of managerial decisions to ensure the accessibility of the SIF, the concept of software and information support for the process of managing the accessibility of the SIF for PLM is proposed (Fig. 3).

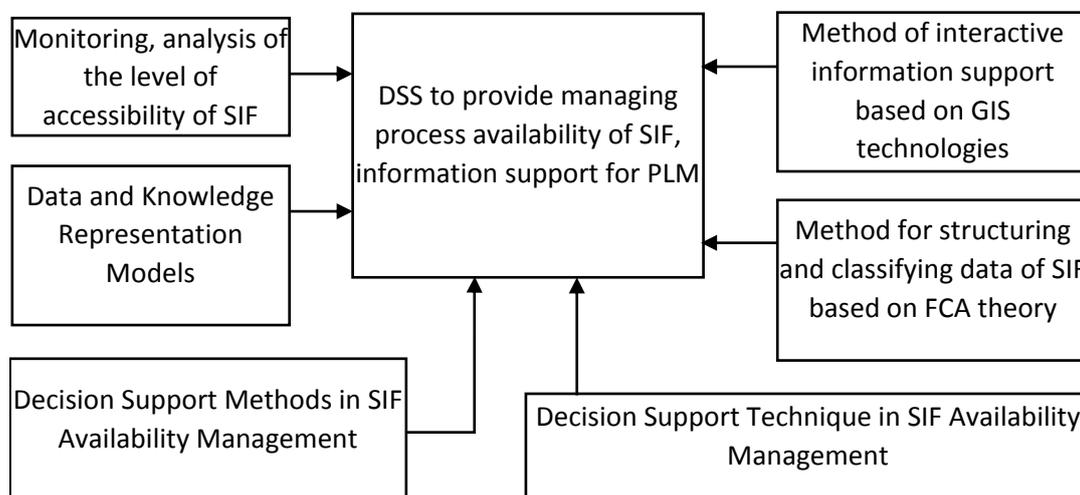


Fig. 3. Scheme of the concept of management decision support to ensure the availability of SIF

The decision support system consists of three main components: a database, a model database and a software system, which in turn consists of a database management system (DBMS), a model database management system, and a user interface management system [10]. The data from the database in the decision support information technology is used by the user for calculations using mathematical models. A software control system can be represented as a set of subsystems:

1. The communication subsystem, using queries, imports data that characterizes the state of the SIF to identify the degree of availability, exports the same data back to the DBMS with the result of identification.

- 2. The database update subsystem is designed to automate the transfer of data for calculations.
- 3. The analysis subsystem solves the problem of classification analysis, i.e. identification of the degree of severity of the accessibility of the SIF.

Decision support information technology is used at different levels of management and implies the coordination of decision makers at all levels. The structure of the decision support system, the functions of its constituent blocks that determine the main technological operations are shown in Fig. 4.

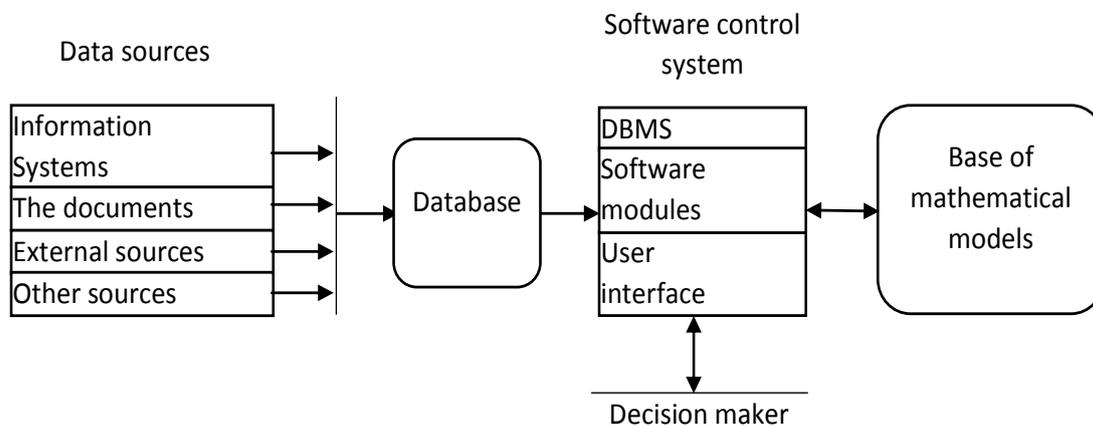


Fig. 4. Main components of decision support information technology

The user or decision maker, through the interface of the automated system, translates queries to the database, on the basis of which the database management system generates responses. The user receives answers in the form of generated documents displayed through the interface of the automated system. The results obtained make it possible to form a unified catalog of social infrastructure facilities, provide a classification according to the totality of the most common and most important features, and also provide decision support in the management of SIF for PLM [11]. This technology of data analysis and structuring allows building an ontology for searching and revealing new knowledge and intellectual support. The structure of the DSS in general can be represented as a process of interaction of the described blocks with each other (Fig. 5).

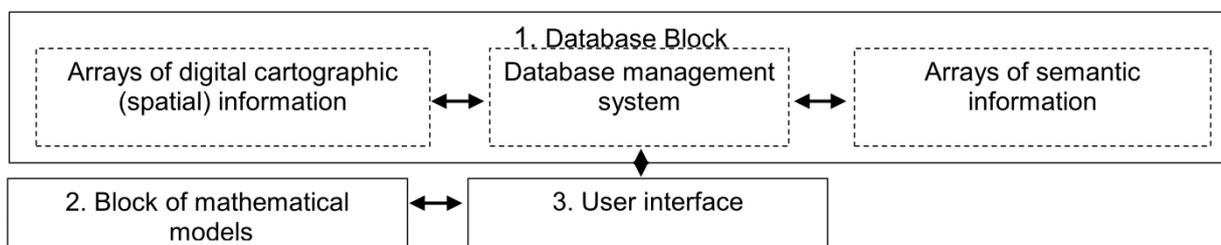


Fig. 5. DSS elements

A software-computer complex based on geoinformation technologies has been implemented, which makes it possible to accumulate, systematize, and effectively use folksonomic data to support the process of SIF for PLM availability managing and research tasks. A decision support system has been created that implements the developed models and methods to support the decision-making process in the field of managing the state of availability of the SIF for PLM. Fig. 6 shows the main window of the DSS created to control the availability of the SIF for PLM geowheel.ru [12].

The functionality of the system, the DSS for managing the availability of SIF for PLM, provides the introduction of information about point objects, linear and areal (polygonal) objects. Objects are connected by a single coordinate space and a single system of measures. The application of the developed methods in the real process of managing the state of availability of the SIF for PLM makes it possible to increase the efficiency of its implementation by improving the quality of information support through the use of the implemented DSS, as well as by significantly reducing the time spent on the analysis of folksonomic data.

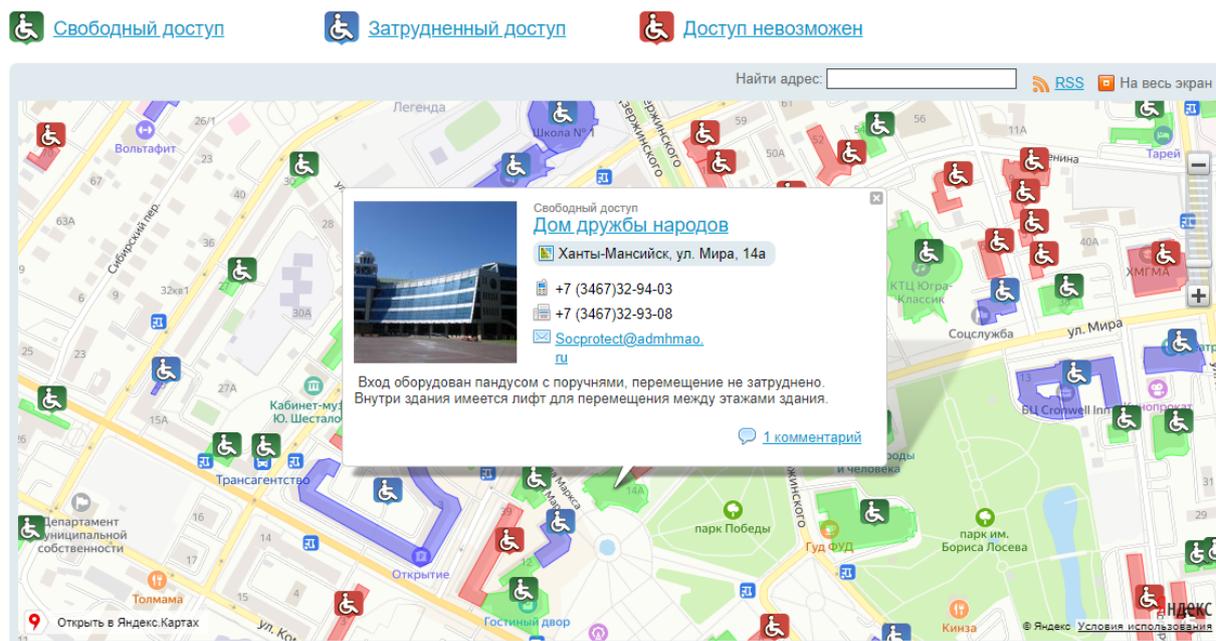


Fig. 6. Screenshot of the DSS created for managing the availability of the SIF for the PLM geowheel.ru

The developed DSS was put into operation and is actively used by authorities and departments, housing and communal services institutions and other organizations, as well as individuals. The implemented models and methods serve to meet the needs in obtaining formalized spatial data, as a geographic orientation tool, as an information and reference system for decision support, and provide opportunities for social information exchange. The system is used by PLM as a tool for spatial orientation, as well as by municipal authorities to make managerial decisions regarding the provision of informational and physical accessibility of social infrastructure facilities, in particular, it has been introduced into the work of the regional public movement of wheelchair users of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra “Transformation” (preo86.ru) and to the Federal Institution Khanty-Mansiysk branch of the FAU “Main State Expertise of Russia” (gge.ru), Information resources of the Administration of the city of Khanty-Mansiysk (admhmansy.ru) as a decision support system in the field of accessibility of SIF for PLM.

As the basic criteria for evaluating the effectiveness of urban management in the field of decision support to ensure the accessibility of SIF for PLM, it is proposed to use the actual indicators of the level of accessibility of SIF, reflected in the latest version of the state program of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra “Accessible environment in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra for 2016–2020”. The goal of the program is to ensure the availability of priority facilities and services in priority areas of life for people with disabilities and other people with limited mobility. The accessibility indicator was based on the criteria reflected in the annex to the table of achieved targets.

Immediate Outcome Indicators:

1. The share of priority objects of social, transport, engineering infrastructure accessible to disabled people and other groups of the population with limited mobility in the total number of priority objects, %.
2. The share of the rolling stock fleet of automobile and urban public transport, equipped for the transportation of people with limited mobility, in the fleet of this rolling stock, %.
3. The share of vocational education institutions in which a universal barrier-free environment has been formed that allows for joint training of people with disabilities and people without developmental disabilities in the total number of vocational education institutions, %.
4. The share of specialists who have undergone training and advanced training on the issues of rehabilitation and people with disabilities social integration, among all specialists employed in this area, %.

Outcome indicators:

5. The share of people with disabilities who positively assess the level of accessibility of priority facilities and services in priority areas of life, in the total number of people with disabilities, %.
6. The share of disabled people who received positive results of rehabilitation (adults (children)), %.

7. Share of people with disabilities who positively assess the attitude of the population towards the problems of people with disabilities in the total number of people with disabilities surveyed, %.

The annual values of the key indicators of the accessibility of the SIF can be represented as a series of successive stages (Ξ_1, \dots, Ξ_N), while at each stage the developed decision support system in the field of ensuring the accessibility of the SIF for the PLM is used to ensure the tasks ($O\Xi_1, \dots, O\Xi_N$) for urban management, obtaining information, solving the problems of accessibility of SIF for PLM (Fig. 7).

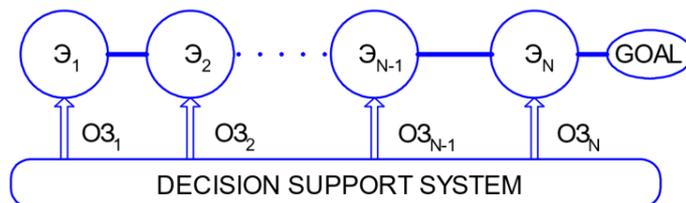


Fig 7. Stages (years) of operation of the DSS for managing the availability of SIF for PLM

The indicator Q_i has been introduced, reflecting the i -th stage (year) implementation quality of using the DSS for managing the availability of SIF for PLM in the urban management system. It is proposed to use a linear approximation of the probability density function of the quality indicator to re-search the effectiveness of the use of DSS [13].

The analysis of indicators of the SIF availability criteria for PLM given above allows us to conclude that the quality assessment is measured as a percentage, that is, the quality indicator is a continuous value that takes values from 0 to Q_M . In relative units Q_i/Q_M , the value of the quality indicator Q_i^* can vary from 0 to 1:

$$Q_i^* \in 0,1; \quad i = 1, \dots, n.$$

The quality indicator of each stage (year) Q_i^* of using DSS, taking into account a significant number of non-deterministic conditions, can be considered a random variable and characterized using the probability distribution density function. In this case, the probability density of the value Q_i^* will depend on the efficiency and quality of the used DSS, which can be expressed as δ_i – the intensity of the influence of the DSS on the urban environment in the area of ensuring the accessibility of the DSS. In relative units, the value of the intensity indicator δ_i^* can vary from 0 to 1, the larger the value, the more effectively the DSS affects the indicator of the availability of the SIF for PLM.

The process of urban management in the field of ensuring the availability of SIF for PLM is divided into stages (years), that is, each stage is determined by the presence of the previous one, and the probability density indicator of the quality of the current stage (year) implementation depends on the quality indicator of the previous stage (year). The quality of the implementation of the selected stage is related to the conditional probability density of the quality indicator Q_i^* :

$$P\left(\frac{Q_i^*}{Q_1^*}, \dots, Q_{i-1}^*, \delta_i^*\right).$$

For a simple serial circuit:

$$P\left(\frac{Q_i^*}{Q_{i-1}^*}, \delta_i^*\right).$$

The requirements for the level of availability of SIF for PLM at different stages (years) of using the DSS can be different and are determined as the value of the quality indicator for the implementation of the stage Q_{yi}^* in the range $0 < Q_{yi}^* \leq 1$, at which the established to the requirement stage. The most significant is the quality indicator of the final stage (Fig. 7 – GOAL), reflecting the result and effectiveness of the implementation of the DSS for managing the availability of SIF for PLM.

Implementation stages (years) are sequential, without feedback, which can be represented as a simple Markov chain of events, which allows us to express the n -dimensional probability density of the quality indicator along the entire chain as follows:

$$P(Q_0^*, Q_1^*, \dots, Q_n^*, \delta_1^*, \dots, \delta_n^*) = P(Q_0^*)P\left(\frac{Q_1^*}{Q_0^*}, \delta_1^*\right) \dots P\left(\frac{Q_n^*}{Q_{n-1}^*}, \delta_n^*\right),$$

where $P(Q_0^*)$ is the probability distribution density of the quality index at the chain input.

As a result of the introduction of the DSS in the field of managing the availability of SIF for PLM and use during stages (years), the probability of assessing the quality of the DSS is higher than satisfactory, can be represented as follows:

$$P(Q_1^*, \delta_1, \dots, \delta_n) = \int_{Q_{y1}^*}^1 \dots \int_{Q_{yn}^*}^1 P(Q_1^*) P\left(\frac{Q_1^*}{Q_0^*}, \delta_1\right) P(Q_2^*) P\left(\frac{Q_2^*}{Q_1^*}, \delta_2\right) \times \dots \times P\left(\frac{Q_n^*}{Q_{n-1}^*}, \delta_n\right) dQ_0^* \dots dQ_n^*,$$

where $Q_0^*, Q_1^*, \dots, Q_n^*$ – the value of the DSS quality indicator at the corresponding stage in relative units;

$\delta_0, \delta_1 \dots \delta_n$ – the value of the intensity of the influence of the DSS at the corresponding stage in relative units;

$P(Q_{i-1}, \delta_i)$ – conditional probability density of the quality indicator at the i – th stage.

To assess the average value of the quality indicator of the use of DSS, the expression is formulated in the following form:

$$\bar{Q}^*(\delta_1, \dots, \delta_n) = \int_{Q_{y1}^*}^1 \dots \int_{Q_{yn}^*}^1 Q_0 Q_1 \dots Q_n P(Q_0^o) P\left(\frac{Q_1^o}{Q_0^o, \delta_1^o}\right) \times \dots \times P\left(\frac{Q_n^*}{Q_{n-1}^*}, \delta_n^*\right) dQ_0^* \dots dQ_n^*.$$

A discrete assessment of the quality index Q_i characterizing the result of the i – th stage (year) using the described expressions can be made for the known probability distribution law $P\left(\frac{Q_i^*}{Q_{i-1}^*}, \delta_i^*\right)$. Finding the probability density function is possible experimentally, while it is possible to distinguish the properties that characterize this function:

– The quality of ensuring the availability of SIF for PLM at each stage depends on the degree of use of the DSS (the more intensively the DSS is used, the higher the quality).

– The probability of the quality of the i – th stage depends on the quality of the previous stage (the higher the indicator, the higher the probability).

– The probability density function satisfies the following normalization condition:

$$\int_0^{Q_M} P\left(\frac{Q_i^*}{Q_{i-1}^*}, \delta_i^*\right) dQ_i = 1.$$

With regard to the described properties, it is possible to approximate the function to a simple one. For example, a linear function was used, expressed as follows:

$$P\left(\frac{Q_i^*}{Q_{i-1}^*}, \delta_i^*\right) = \frac{1}{Q_M} - \frac{\delta_i^*}{2 - \delta_i^*} \left(\frac{2Q_{i-1}^* - Q_M}{Q_M}\right) \left(1 - \frac{2Q_i^*}{Q_M}\right),$$

where Q_i^* – the value of the quality indicator at the i – th stage in relative units;

Q_M – the maximum value of the quality indicator in relative units;

δ_i^* – the value of the intensity of the influence of the DSS at the i – th stage in relative units.

The behavior of the reduced function of three variables is possible to show with the help of curve graphs, for which one of the function parameters was selected and fixed. With a fixed (maximum) value of the DSS influence intensity indicator $\delta_i^* = 1$ on the quality of decisions made in the field of ensuring the availability of the SIF, it is possible to determine the form of the probability density function of the quality index of the support for the ensuring the SIF availability process for one of the stages Q_i^* depending on the quality of the previous stage Q_{i-1}^* . The example of 2019 (stage) shows the dependence of the probability density of the quality of the DSS on the quality indicator of the i – th stage, taking into account the different values of the quality indicator at the previous stage – Fig. 8.

With a fixed value of the DSS quality index at the previous stage $Q_{i-1}^* = 1$, it is possible to determine the form of the probability density function of the DSS quality index at one of the operation stages Q_i^* depending on the quality of decision support δ_i^* . The example of 2019 (stage) shows the dependence of the probability density of the quality and efficiency of decisions made on the intensity of DSS operation δ_i^* – Fig. 9.

Function behavior research with a change in the intensity parameter of the use of the DSS δ_i^* in the range $1 \geq \delta_i^* > 0$ is characterized by a change in the amplitude of the DSS quality density probability dependence, while the nature of the dependence remains unchanged. At zero intensity of use of DSS $\delta_i^* = 0$, the DSS does not affect the quality of decisions made when controlling the availability of the SIF for the PLM.

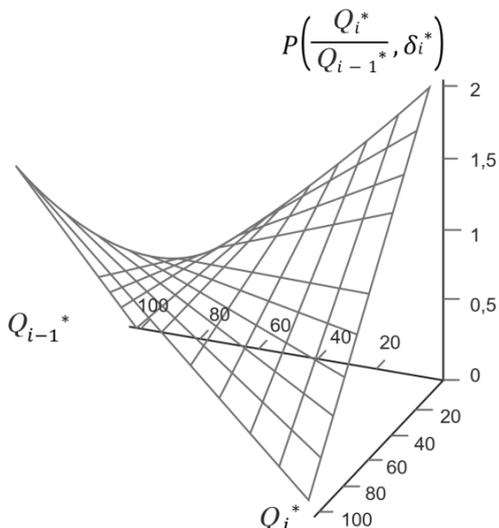


Fig. 8. The quality probability density of the DSS at a fixed (maximum) value of the DSS influence intensity

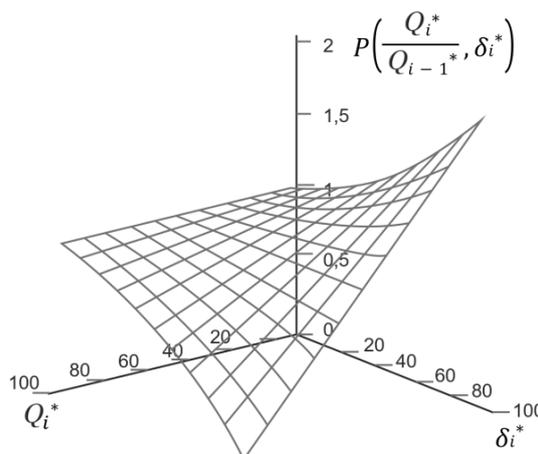


Fig. 9. Probability density of the DSS quality at fixed (maximum) of the DSS influence intensity value

To determine the required DSS use influence level in urban management, an indicator of the DSS number of usages was introduced – m . With known values of the probability density decisions made quality distribution, it is possible to establish analytical quality average value dependences and effectiveness $\bar{Q}^* = f(m, \delta)$ on the use intensity level δ and the number of usages m . The type of the described dependencies is presented using the graph in Fig. 10.

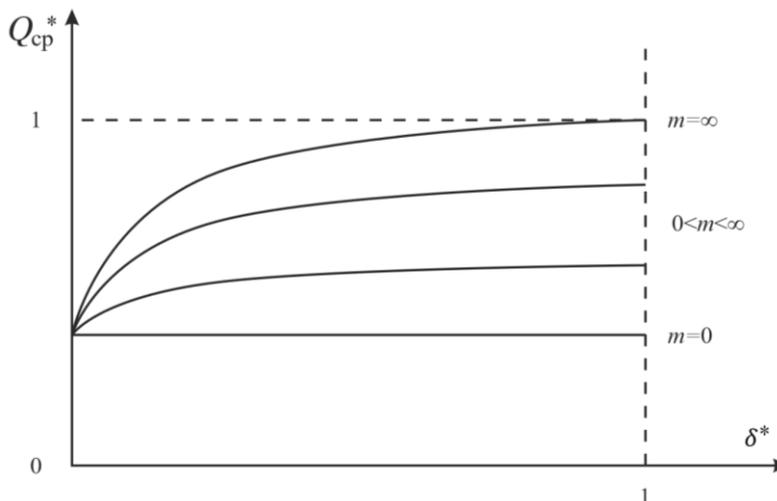


Fig. 10. DSS quality and effectiveness indicator dependence on the intensity of use and the number of usages

DSS quality indicator function behavior research allows us to conclude that with an increase in the number of accesses to the DSS, the average value of the quality indicator grows non-linearly, tending to the maximum indicator. The resulting expressions give an idea of the DSS influence on the support quality for the management process of ensuring the SIF for the PLM availability. Based on them, the number of calls m to the DSS can be determined, at which the required quality indicator average value Q_{cp}^* of support for the urban management process is achieved, that is, the requirements for the composition and level of information content of the DSS for managing SIF for PLM availability.

Systematic research of public opinion using a variety of means and methods for collecting and analyzing information made it possible to ensure the objectivity and correctness of the implementation of the system for supporting the adoption of decisions in the field of managing the accessibility of the SIF, to ensure the effectiveness of public authorities in relation to the research topic, to form a qualitative

social effect in ensuring the accessibility of the SIF. Public opinion, the opinion of the citizens themselves, including PLMs and people with disabilities, played a special role in assessing the effectiveness of the SIF accessibility management system [14, 15].

The development and implementation of new techniques, means and methods, technologies of intellectual support and management support, their widespread development by government bodies and citizens contributes to the creation of important prerequisites for a serious improvement in the functioning of the state-civil regulation of the level of accessibility of SIF in the context of the country's dynamic development.

To date, the developed DSS is used in various subject areas as a tool for improving the productivity and quality of management decisions in the field of accessibility of SIF, significantly speeding up the process of substantiating and making decisions. In the foreseeable future, it is possible to improve the functioning of the developed DSS for managing the availability of SIF for PLM in the following areas:

- Development of a methodology for forecasting the prospects for various options for decisions made from an economic and social point of view.
- Development of a method for intellectual identification of a spatial object (SIF or other object of the urban environment) on raster and vector maps.
- Development of a methodology for classifying SIF by class with division into subclasses with the determination of the percentage of belonging to a particular class (subclass).
- Development of a methodology for developing recommendations for various services of municipal government and housing and communal services.
- Integration of data exchange processes between DSS and regional social services, health authorities, housing and communal services.
- Implementation of standards for ensuring the accessibility of PSI in the work of social services and authorities.
- Development of methods for improving the quality of social communication between society and the state, the level of education in the field of regulating the accessibility of SIF.
- Ensuring information interaction with other related SIF accessibility management systems.

Discussions and Conclusions

The paper solves an urgent scientific and technical problem of implementing information support for making informed management decisions in the field of managing the state of the availability of IOS for PLM. The application of the developed methods in the real process of managing the state of availability of the SIF for PLM makes it possible to increase the efficiency of its implementation by improving the quality of information support through the use of the implemented DSS, as well as by significantly reducing the time spent on the analysis of folksonomic data.

The use in practice of the developed technologies and algorithms, including the implementation in the form of a DSS of managing the availability of SIF for PLM, made it possible to evaluate the effectiveness and quality of the development and the correctness of the methods used in relation to the research topic. A methodology for assessing the overall effectiveness of the functioning of the DSS by the availability of SIF for PLM has been developed, an analytical, computational and graphical method for assessing the effectiveness of development has been presented. The quality of the work of the information system for decision support in the management of the availability of information systems for PLM was assessed, the results of the assessment of efficiency were shown, a retrospective analysis of the effectiveness of the introduction of DSS into the urban management system was performed.

References

1. Tashkin A.O., Semenov S.P. Methodology for the development of a geographic information system for people with limited mobility. *Modern Problems of Science and Education*. 2014;(1). Available at: <http://www.science-education.ru/115-12206> (accessed 05.10.2021). (In Russ).
2. Semenov S.P., Tashkin A.O. [Interactive geographic information system for people with limited mobility]. In: *Collection of scientific articles of the international conference "Lomonosov readings in Altai: fundamental problems of science and education"*. Barnaul: Altai University; 2015. P. 1007–1010. (In Russ)

3. Semenov S.P., Slavsky V.V., Tashkin A.O. The analysis of the information resources directed on satisfaction in information needs of physically disabled people. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*. 2016;14(1):83–102. (In Russ)
4. Bulygin Yu.E. *Organization of social management (basic concepts and categories)*. Reference dictionary. Ed. Prof. I.G. Bezuglov. Moscow: Kontur; 2002. 234 p. (In Russ)
5. Vdovin V.M., Surkova L.E., Valentinov V.A. *Systems theory and systems analysis: textbook*. Moscow: Dashkov i K; 2010. 640 p. (In Russ)
6. Rakesh Kumar Sharma, Durga Prasad Sharma. Review of spatial decision support systems in resource management. *Review of Business and Technology Research*. 2012;6(1):167–174.
7. Belkacem L., Hadda D., Akakba A. Gis-based multicriteria spatial decision support system model to handle health facilities resources. Case of crisis management in Batna, Algeria. *Geographia Technica*. 2020;15(1):173–186. DOI: 10.21163/GT_2020.151.16
8. Sultani R.M., Soliman A.M., Al-Hagla K.S. The Use of Geographic Information System (GIS) Based Spatial Decision Support System (SDSS) in Developing the Urban Planning Process. *APJ, Architecture & Planning Journal*. 2009;20:97–115.
9. Cimiano P., Hotho A., Staab S. Learning Concept Hierarchies from Text Corpora using Formal Concept Analysis. *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2005;24:305–339. DOI: 10.1613/jair.1648
10. Cimiano P. *Ontology Learning and Population from Text: Algorithms, Evaluation and Applications*. Springer, New York; 2006. 312 p. DOI: 10.1007/978-0-387-39252-3
11. Semenov S.P., Slavsky V.V., Tashkin A.O. [Mathematical model of a socially oriented geoinformation system for people with limited mobility]. In: *International conference "Mathematics and information technologies in the oil and gas complex" dedicated to the birthday of the great Russian mathematician, academician P.L. Chebysheva: Abstracts*. Surgut: Scientific Center of SurGU; 2016. P. 146–149. (In Russ)
12. Semenov S.P., Slavskiy V.V., Tashkin A.O., Tyakunov A.S. Mathematical model of social infrastructure based on the theory of formal concept analysis (FCA). *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*. ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P). 2017;8(1):1–3.
13. Arampatzis G., Kiranoudis C.T., Scaloubacas P., Assimacopoulos D. A GIS-based decision support system for planning urban transportation policies. *European Journal of Operational Research*. 2004;152:465–475. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00037-7
14. Tashkin A.O., Hollay A.V. Development of a decision support system of city's social infrastructure accessibility based on GIS-technologies. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2022;22(2):122–131. DOI: 10.14529/ctcr220211
15. Xia J., Lin L., Lin J., Nehal L. Development of a GIS-Based Decision Support System for Diagnosis of River System Health and Restoration. *Water*. 2014;6:3136–3151. DOI: 10.3390/w6103136

Список литературы

1. Ташкин А.О., Семенов С.П. Методика разработки геоинформационной системы для маломобильных граждан // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/115-12206> (дата обращения: 05.10.2021).
2. Семенов С.П., Ташкин А.О. Интерактивная геоинформационная система для маломобильных граждан // *Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования»*. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2015. С. 1007–1010.
3. Семенов С.П., Славский В.В., Ташкин А.О. Анализ информационных ресурсов, направленных на удовлетворение информационных потребностей людей с ограниченными возможностями // *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2016. Т. 14, № 1. С. 83–102.
4. Бульгин Ю.Е. Организация социального управления (основные понятия и категории): слов.-справ. / под общ. ред. проф. И.Г. Безуглова. М.: Контур, 1999. 254 с.
5. Вдовин В.М., Суркова Л.Е., Валентинов В.А. Теория систем и системный анализ: учеб. М.: ИТК «Дашков и К», 2010. 640 с.
6. Rakesh Kumar Sharma, Durga Prasad Sharma. Review of spatial decision support systems in resource management // *Review of Business and Technology Research*. 2012. Vol. 6, no. 1. P. 167–174.
7. Belkacem L., Hadda D., Akakba A. Gis-based multicriteria spatial decision support system model

to handle health facilities resources. Case of crisis management in Batna, Algeria // *Geographia Technica*. 2020. Vol. 15, iss. 1. P. 173–186. DOI: 10.21163/GT_2020.151.16

8. Sultani R.M., Soliman A.M., Al-Hagla K.S. The Use of Geographic Information System (GIS) Based Spatial Decision Support System (SDSS) in Developing the Urban Planning Process // *APJ, Architecture & Planning Journal*. 2009. Vol. 20. P. 97–115.

9. Cimiano P., Hotho A., Staab S. Learning Concept Hierarchies from Text Corpora using Formal Concept Analysis // *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2005. Vol. 24. P. 305–339. DOI: 10.1613/jair.1648

10. Cimiano P. *Ontology Learning and Population from Text: Algorithms, Evaluation and Applications*. Springer, New York, 2006. 312 p. DOI: 10.1007/978-0-387-39252-3

11. Семенов С.П., Славский В.В., Ташкин А.О. Математическая модель социально-ориентированной геоинформационной системы для маломобильных групп населения // Международная конференция «Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе», посвящённая дню рождения великого русского математика академика П.Л. Чебышёва: тез. докл. Сургут: ИЦ СурГУ, 2016. С. 146–149.

12. Mathematical model of social infrastructure based on the theory of formal concept analysis (FCA) / S.P. Semenov, V.V. Slavskiy, A.O. Tashkin, A.S. Tyakunov // *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*. ISSN: 2321-0869 (O) 2454-4698 (P). 2017. Vol. 8, no. 1. P. 1–3.

13. A GIS-based decision support system for planning urban transportation policies / G. Arampatzis, C.T. Kiranoudis, P. Scaloubacas, D. Assimacopoulos // *European Journal of Operational Research*. 2004. Vol. 152. P. 465–475. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00037-7

14. Tashkin A.O., Holloy A.V. Development of a decision support system of city's social infrastructure accessibility based on GIS-technologies // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*. 2022. Т. 22, № 2. С. 122–131. DOI: 10.14529/ctcr220211

15. Development of a GIS-Based Decision Support System for Diagnosis of River System Health and Restoration / J. Xia, L. Lin, J. Lin, L. Nehal // *Water*. 2014. Vol. 6. P. 3136–3151. DOI: 10.3390/w6103136

Information about the authors

Alexander V. Holloy, Dr. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Prof. of the Department of Information and Analytical Support of Management in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; alexander@holloy.ru.

Artem O. Tashkin, applicant for the degree of Cand. Sci. (Eng.) of the Department of Information and Analytical Support of Management in Social and Economic Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; general director, ANO “Public Initiatives Center “MIR”, Khanty-Mansiysk, Russia; anozer_sky@mail.ru.

Информация об авторах

Голлай Александр Владимирович, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; alexander@holloy.ru.

Ташкин Артём Олегович, соискатель степени канд. техн. наук при кафедре информационно-аналитического обеспечения управления в социальных и экономических системах, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; генеральный директор, АНО «Центр общественных инициатив «МИР», Ханты-Мансийск, Россия; anozer_sky@mail.ru.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The article was submitted 03.06.2022

Статья поступила в редакцию 03.06.2022

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО РЫНКА ТРУДА

С.А. Федосеев, fsa@gelicon.biz

Д.Л. Горбунов, call-of-monolit@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3186-3680>

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

Аннотация. Конъюнктура рынка труда как парадигма всех экономических процессов системы цивилизованного государства находится под пристальным вниманием современной науки. Анализ динамических процессов рынка труда в разрезе уровня квалификации субъектов всегда представляет научный интерес в силу того, что качество продукции напрямую зависит от уровня квалифицированности рабочей силы. Повышение эффективности кадровой политики работодателей требует разработки новых инструментов управления и прогнозирования динамических процессов рынка труда на макро- и микроуровнях. Рассматриваются три способа расчёта входных параметров для предложенной ранее системно-динамической модели замкнутой системы рынка труда с последующим применением данной модели с целью получения прогнозных значений моделируемых параметров. **Цель исследования:** проверка модели на адекватность путём получения результатов прогнозирования реально существующей системы рынка труда на основе каждой из трёх гипотез. **Материалы и методы.** Согласно концепции модели, субъекты рынка труда делятся на три категории в зависимости от величины спроса на их труд: субъекты высокой, низкой и средней квалификации. Модель позволяет рассчитать устойчивые значения количества субъектов каждого из трёх уровней квалификации на каждом предприятии рынка труда и среди безработных субъектов в зависимости от входных данных. Разработана методика присвоения начальных числовых значений каждому из моделируемых параметров, которая представляет собой три альтернативные гипотезы – три различных способа присвоения уровня квалификации каждому субъекту рынка труда. Каждая из трёх гипотез проверена путём внесения соответствующих входных значений в модель, построенную при помощи прикладного ПО AnyLogic. **Результаты.** Получены три альтернативных прогноза устойчивых значений долей субъектов на градообразующем предприятии и в каждом из перечисленных секторов рынка труда пос. Сырва Пермского края. Прогнозные значения моделируемых параметров подтверждают успешное прохождение моделью проверки на адекватность, а также допустимость применения каждого из трёх предложенных способов расчёта входных данных для данной модели.

Ключевые слова: системно-динамическая модель, муниципальный рынок труда, AnyLogic, расчёт входных данных, результаты прогноза

Для цитирования: Федосеев С.А., Горбунов Д.Л. Модель прогнозирования муниципального рынка труда // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22, № 3. С. 163–171. DOI: 10.14529/ctcr220315

Brief report
DOI: 10.14529/ctcr220315

FORECASTING MODEL MUNICIPAL LABOR MARKET

S.A. Fedoseev, fsa@gelicon.biz

D.L. Gorbunov, call-of-monolit@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3186-3680>

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

Abstract. The paper considers applied application of the previously proposed system-dynamic model of the economic system consisting of a finite number of elements. **Aim.** according to the model conception, subjects of the labour market are divided into three categories depending on the value of demand for their

labor: subjects of high, low and medium qualification. **Materials and methods.** The model enables to calculate stable values of the number of subjects with all three qualification categories in each labour market enterprise and among unemployed subjects depending on the input data. A methodology has been developed to assign initial numerical values to each of the modelled parameters which presents three alternative ways of assigning qualifications to each labour market entity. The model has been tested with real data. Input parameters of the model are the labour market indicators of Sylva settlement of the Perm Region in 2021. **Results.** The modeled system is represented by the backbone enterprise, the sector of private enterprises, the sector of budgetary enterprises, the sector of shadow employment and unrecorded unemployment as well as the sector of registered unemployed. We have obtained three alternative forecasts for sustainable values of the shares of subjects with all three qualification categories in the backbone enterprise and in each of the listed sectors of the Sylva's labor market

Keywords: system-dynamic model, municipal labor market, AnyLogic, input data calculation, forecast results

For citation: Fedoseev S.A., Gorbunov D.L. Forecasting model municipal labor market. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics.* 2022;22(3): С. 163–171. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr220315

Введение

Конъюнктура рынка труда как парадигма всех экономических процессов цивилизованной страны непрерывно находится под пристальным вниманием современной науки. Качество продукции напрямую зависит от уровня квалифицированности рабочей силы, поэтому анализ динамических процессов рынка труда в разрезе уровня квалификации субъектов всегда представляет научный интерес.

К примеру, работа [1] посвящена описанию специфики рынка труда как сложной динамической системы. В работах [2, 3] рынок труда упоминается как подсистема российской экономики с анализом его влияния на параметры производственной функции. Подробный обзор проблемы текучести кадров на рынке труда осуществлён в работах [4, 5]. В работах [6, 7] исследуются математические закономерности текучести кадров на рынке труда – этот вопрос перекликается с настоящим исследованием. Также с настоящим исследованием перекликается теория коллективной текучести кадров, где анализируется соотношение количества ушедших работников с их качеством (квалификацией) [8].

В [9] представлена системно-динамическая модель прогнозирования квалификации кадрового состава промышленного предприятия. В данной работе рассматриваются три гипотезы подбора входных параметров для предложенной модели в зависимости от имеющихся данных о работниках предприятия. Проведенное в настоящей работе исследование на основе реальных данных муниципального рынка труда п. Сылва Пермского края показывает, что модель позволяет в равной мере принимать каждую из гипотез не только на микроуровне [9–11], но и на макроуровне.

1. Системно-динамическая модель

Математическая модель динамики квалификации кадрового состава предприятия, состоящего из конечного числа источников спроса, представлена в [9, 12]. Согласно предложенной в [9, 12] концепции, субъекты рынка труда делятся на три квалификационных категории: специалисты высокой квалификации, в которых работодатель заинтересован в первую очередь; специалисты средней категории, потенциально имеющие возможность получить высокую категорию в данной области, но без гарантии реализации этой возможности; специалисты низкой категории, в которых работодатель не заинтересован.

Предлагаемое в [12] обобщение одномерной модели имеет вид $3q$ -мерной системы нелинейных дифференциальных уравнений ($q \in \mathbb{N}$):

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\alpha}_i(t) = \frac{A - M \sum_{i=1}^q \alpha_i(t)}{N} (\gamma_i(t) + k_i \beta_i(t)); \\ \dot{\beta}_i(t) = \frac{B - M \sum_{i=1}^q \beta_i(t)}{N} (\gamma_i(t) + k_i \beta_i(t)) - k_i \beta_i(t); \\ \dot{\gamma}_i(t) = \frac{G - M \sum_{i=1}^q \gamma_i(t)}{N} (\gamma_i(t) + k_i \beta_i(t)) - \gamma_i(t). \end{array} \right. \quad (1)$$

Здесь q – количество источников спроса на труд (источников спроса); $i = \overline{1, q}$; A – общее число специалистов высокой квалификации на рынке труда; B – общее число специалистов средней квалификации на рынке труда; G – общее число специалистов низкой квалификации на рынке труда; M – общее число рабочих мест на предприятии, которое считается равным количеству работников предприятия, исходя из предположения о том, что на предприятии незанятых рабочих мест нет [10, 11]; N – общее число безработных на рынке труда; q – количество источников спроса предприятия; k_i – коэффициент селекции, а именно доля тех специалистов средней квалификационной категории, которые в каждый момент времени увольняются с i -го источника спроса предприятия [9]; $\alpha_i(t)$ – доля специалистов высокой категории i -го источника спроса среди всех трудоустроенных субъектов рынка труда; $\beta_i(t)$ – доля специалистов средней категории i -го источника спроса среди всех трудоустроенных субъектов рынка труда; $\gamma_i(t)$ – доля специалистов низкой категории i -го источника спроса среди всех трудоустроенных субъектов рынка труда. Отметим, что $\alpha_i(t), \beta_i(t), \gamma_i(t)$ – неизвестные функции, тогда как A, B, G, M, N, q, k_i – целые положительные константы.

В настоящем исследовании в качестве i -х источников спроса будут рассмотрены: градообразующее предприятие, сектор бюджетных предприятий, сектор частных предприятий и теневая занятость (неучтённая безработица) рынка труда реально существующего муниципального образования. Таким образом, будет показано, что модель применима не только на микроэкономическом [9, 12], но и на макроэкономическом уровне.

1. Присвоение квалификационных категорий

Авторы предлагают три гипотезы, согласно которым каждому работнику предприятия, трудоустроенному или уволенному когда-либо, можно присвоить квалификационную категорию.

Во всех гипотезах высокую квалификацию предлагается присваивать всем работникам, чей стаж трудоустройства на данном предприятии не менее X лет, где X задаётся экспертно. Всем остальным работникам предприятия предлагается присваивать среднюю квалификацию, а вакантные места на предприятии предлагается считать условно занятыми субъектами низкой квалификации.

В свою очередь принципы присвоения квалификационной категории работникам, уволенным с предприятия, в предложенных авторами гипотезах отличаются.

Поскольку по условию субъекты высокой квалификации не могут быть уволены с предприятия, каждому из уволенных субъектов необходимо присвоить либо среднюю, либо низкую квалификацию. В первой гипотезе авторы предлагают относить уволенных с предприятия субъектов рынка труда к средней или низкой квалификации также в зависимости от количества лет, в течение которого бывший работник данного предприятия был здесь трудоустроен. Если субъект рынка труда проработал на предприятии до увольнения не менее Y лет (Y задаётся экспертно), ему следует присвоить среднюю квалификацию. Иначе уволенному работнику присваивается низкая квалификация. Назовём эту гипотезу «Гипотеза А»

Во второй гипотезе авторы предлагают присваивать уволенным с предприятия субъектам рынка труда к средней или низкой квалификационной категории в зависимости от причины увольнения, прописанной во внутренних документах предприятия. Если субъект рынка труда был уволен по соглашению сторон или вследствие сокращения штата, то ему присваивается

средняя квалификация. Субъектам рынка труда, уволенным по всем иным причинам, присваивается низкая квалификация. Назовём эту гипотезу «Гипотеза В».

В третьей гипотезе авторы предлагают присваивать всем уволенным с предприятия субъектам среднюю квалификацию, а вакантные места считать условно занятыми субъектами низкой квалификации, которые в данной гипотезе на рынке труда не рассматриваются в качестве источника предложения. Назовём эту гипотезу «Гипотеза С»

От того, какая гипотеза будет принята, зависит значение параметра k_i – коэффициента селекции i -го источника спроса предприятия. Остальные входные параметры неизменны во всех гипотезах.

Во всех гипотезах коэффициент селекции i -го источника спроса предприятия k_i вычисляется по следующей формуле

$$k_i = \frac{y_i^B}{M_i^B + y_i^B}, \quad (2)$$

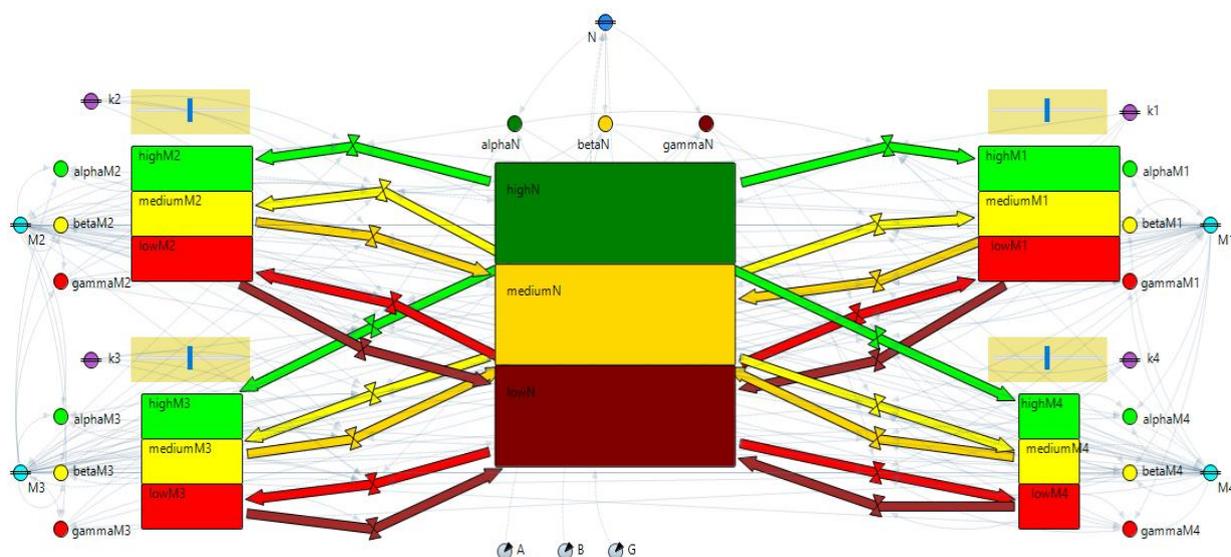
где M_i^B – количество всех работников i -го источника спроса, чей стаж на предприятии не превышает X лет (трудоустроенных работников средней категории); y_i^B – количество уволенных работников средней категории i -го источника спроса. Гипотезы отличаются способом присвоения значения параметру y_i^B .

Согласно гипотезе А, y_i^B – количество всех уволенных работников i -го источника спроса, проработавших до увольнения от Y лет и выше. Согласно гипотезе В, y_i^B – количество всех бывших работников i -го источника спроса, уволенных за период по соглашению сторон или вследствие сокращения штата. Согласно гипотезе С, y_i^B – количество всех уволенных работников i -го источника спроса за период.

В любом случае пользователь располагает достоверной информацией о количестве работников каждой квалификационной категории в каждом источнике спроса предприятия и имеет возможность получить прогноз динамики кадрового состава в зависимости от начальных значений входных параметров.

2. Численная реализация модели

В [12] показан ход решения системы (1), приведено точное аналитическое решение и найдены точки равновесия. В [9] показано, что система (1) представима в виде системно-динамической модели с помощью прикладного ПО AnyLogic (см. рисунок).



Вид модели в AnyLogic
Model view in AnyLogic

Три массива по центру – множество соискателей вакантных должностей, источник предложения на рынке труда. Сверху вниз – соответственно массивы безработных субъектов высокой, средней и низкой квалификации. Четыре группы из трёх массивов по углам – четыре множества трудоустроенных субъектов, источники спроса на труд. В каждом из четырёх источников спроса сверху вниз – соответственно массивы субъектов высокой, средней и низкой квалификации. Сверху над каждым источником спроса – бегунок коэффициента селекции, с помощью которого можно управлять процессом прогнозирования.

Массивы безработных субъектов соединены каналами трудоустройства и увольнения с массивами трудоустроенных субъектов той же квалификации (массив безработных субъектов высокой квалификации соединён с массивом трудоустроенных субъектов высокой квалификации только каналом трудоустройства).

С помощью предложенной модели можно отслеживать динамику рынка труда исследуемой социально-экономической системы в заданном интервале времени и определять устойчивые решения.

3. Апробация модели на реальных данных

В качестве демонстрационного примера приведены результаты моделирования рынка труда посёлка Сылва Пермского края согласно статистическим данным и показателям за 2021 год [13–15].

Считается, что источниками спроса в данном случае являются: № 1 – градообразующее предприятие АО «Птицефабрика Пермская», № 2 – сектор бюджетных предприятий пос. Сылва, № 3 – сектор частных предприятий пос. Сылва и № 4 – неучтённые безработные и неформальный сектор пос. Сылва.

Количество субъектов источника спроса № 1 указано в [7]. Количество субъектов источников спроса № 2 и 3 задано согласно соотношению занятых в частном и бюджетном секторах по Пермскому краю [5]. Количество субъектов источника спроса № 4 представляет собой разность между численностями населения пос. Сылва в трудоспособном возрасте и суммой численностей трудоустроенного населения пос. Сылва, безработного населения и инвалидов этого посёлка в трудоспособном возрасте.

Константы В, G заданы согласно информации из [6] о количестве жителей пос. Сылва в разрезе уровня образования: значение константы В принято равным количеству субъектов в трудоспособном возрасте, умноженному на сумму долей жителей пос. Сылва с неполным высшим образованием, средним профессиональным образованием, образованием 11 и 9 классов – т. е. 73 % от численности жителей пос. Сылва в трудоспособном возрасте. Значение константы G принято равным количеству жителей пос. Сылва в трудоспособном возрасте, умноженному на долю жителей пос. Сылва с образованием менее 9 классов – т. е. 10 % от численности жителей посёлка в трудоспособном возрасте.

Коэффициенты селекции источников спроса № 2 и 3 приняты равными соответственно 0,35 и 0,5. Коэффициент селекции источника спроса № 4 равен 1, так как в источнике спроса № 4 поведение субъектов средней и низкой квалификационных категорий считается аналогичным поведению безработных субъектов.

Начальные значения каждого из массивов источников спроса № 2, 3, 4 заданы в отношении В : G.

Коэффициент селекции источника спроса № 1 будет рассчитан по каждой из трёх гипотез, а начальные значения каждого из массивов заданы согласно данным, полученным непосредственно с градообразующего предприятия.

Модель запускается с входными данными из [5] трижды: принимая значение k_1 равным 0,28 согласно гипотезе А; принимая значение k_1 равным 0,44 согласно гипотезе В и принимая значение k_1 равным 0,36 согласно гипотезе С.

В таблице приведены входные и прогнозные значения каждого из параметров модели в зависимости от каждой из трёх гипотез.

В принципе модель позволяет прогнозировать значения показателей по годам, но в таблице приведены устойчивые значения показателей рынка труда, к которым система стремится асимптотически.

Перечень элементов модели и их значений
List of model elements and their values

Элемент в системе (1)	Смысл элемента в системе рынка труда пос. Сырва	Входное значение	Прогноз (гип. А)	Прогноз (гип. В)	Прогноз (гип. С)
k_1	Коэффициент селекции градообразующего предприятия	Зависит от гипотезы	0,28	0,44	0,36
$\alpha_1(t)$	Доля трудоустроенных субъектов высшей категории на градообразующем предприятии	0,090	0,110	0,115	0,113
$\beta_1(t)$	Доля трудоустроенных субъектов средней категории на градообразующем предприятии	0,205	0,272	0,260	0,266
$\gamma_1(t)$	Доля трудоустроенных субъектов низкой категории на градообразующем предприятии	0,029	0,023	0,031	0,027
k_2	Коэффициент селекции сектора бюджетных предприятий	0,35	0,35	0,35	0,35
$\alpha_2(t)$	Доля трудоустроенных субъектов высшей категории в секторе бюджетных предприятий	0,022	0,030	0,030	0,030
$\beta_2(t)$	Доля трудоустроенных субъектов средней категории в секторе бюджетных предприятий	0,096	0,091	0,093	0,092
$\gamma_2(t)$	Доля трудоустроенных субъектов низкой категории в секторе бюджетных предприятий	0,013	0,009	0,007	0,008
k_3	Коэффициент селекции сектора частных предприятий	0,5	0,5	0,5	0,5
$\alpha_3(t)$	Доля трудоустроенных субъектов высшей категории на градообразующем предприятии	0,079	0,115	0,111	0,113
$\beta_3(t)$	Доля трудоустроенных субъектов средней категории в секторе частных предприятий	0,317	0,285	0,293	0,289
$\gamma_3(t)$	Доля трудоустроенных субъектов низкой категории в секторе частных предприятий	0,046	0,042	0,038	0,040
k_4	Коэффициент селекции теневой занятости и неучтённой безработицы	1	1	1	1
$\alpha_4(t)$	Доля субъектов высшей категории среди неучтённых безработных и теневых занятых	0,017	0,007	0,007	0,006
$\beta_4(t)$	Доля субъектов средней категории среди неучтённых безработных и теневых занятых	Зависит от гипотезы	0,012	0,013	0,013
$\gamma_4(t)$	Доля субъектов низкой категории среди неучтённых безработных и теневых занятых	Зависит от гипотезы	0,004	0,002	0,003

Отсюда следует, что, во-первых, кадровая политика градообразующего предприятия оказывает влияние на конъюнктуру рынка труда всего посёлка; во-вторых, что каждая из гипотез имеет право на существование, так как устойчивые значения показателей во всех трёх гипотезах кардинально не отличаются друг от друга (особенно с поправкой на концептуальные допущения),

в-третьих, сравнивая устойчивые значения показателей с динамикой их актуальных значений из [6], можно заметить, что в целом смоделированная ситуация на рынке труда пос. Сылва не противоречит логике реальной динамики рабочей силы – что лишний раз подтверждает адекватность предложенной модели.

Заключение

Авторами рассмотрены три гипотезы подсчёта значений входных параметров для системно-динамической модели в зависимости от документированных числовых показателей. Показано, что модель позволяет в равной мере применять каждую из гипотез. Получены устойчивые показатели параметров конъюнктуры рынка труда реально существующего населённого пункта с градообразующим предприятием в зависимости от входных данных согласно каждой из трёх гипотез.

Модель применима как на макроуровне, так и на микроуровне, так как поддаётся интерпретации в качестве системы любого определённого во времени экономического агента, состоящего из конечного количества элементов: рынка труда, состоящего из конечного количества работодателей; промышленного предприятия, состоящего из конечного количества подразделений; вуза, состоящего из конечного количества факультетов и других подразделений.

Список литературы

1. Рынок труда, занятость населения, экономика ресурсов для труда / под ред. А.И. Рофе. М.: МИК, 2007. 159 с.
2. Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Производственная функция народного хозяйства России в 1990–2012 гг. // Экономика и математические методы. 2014. Т. 50, № 4. С. 21–33.
3. Иващенко С.М. Динамическая стохастическая модель общего экономического равновесия. URL: https://eu.spb.ru/images/ec_dep/wp/ec-02_13.pdf (дата обращения: 25.07.2022).
4. Porter L., Steers R. Organizational, Work and Personal Factors in Turnover and Absenteeism // Psychological Bulletin. 1973. Vol. 80, no. 2. P. 151–176.
5. Review and Conceptual Analysis of the Employee Turnover Process / W. Mobley, R.W. Griffeth, H. Hand, B. Meglino // Psychological Bulletin. 1979. Vol. 86, no. 3. P. 493–522. DOI: 10.1037/0033-2909.86.3.493
6. Кадырова А.Р. Текучесть кадров: обзор проблемы. Ч. 1. Экономико-математические модели текучести высшего руководства // Проблемы управления. 2015. № 2. С. 2–12.
7. Кадырова А.Р. Текучесть кадров: обзор проблемы. Ч. 2. Экономико-математические модели текучести неруководящих сотрудников // Проблемы управления. 2015. № 3. С. 2–11.
8. Lewin J., Sager J. The influence of personal characteristics and coping strategies on salespersons' turnover intentions // Journal of Personal Selling & Sales Management. 2010. No. 4. P. 355–370. DOI: 10.2753/PSS0885-3134300405
9. Горбунов Д.Л., Федосеев С.А. Системно-динамическая модель прогнозирования квалификации кадрового состава промышленного предприятия // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2020. № 5. С. 66–69.
10. Gorbunov D.L. Modeling of a closed mono-branch labor market conditions // Вестник Пермского университета. Серия «Экономика». 2018. Т. 13, № 3. С. 357–371. DOI: 10.17072/1994-9960-2018-3-357-371
11. Горбунов Д.Л. Об одной системе нелинейных дифференциальных уравнений, интегрируемой в квадратурах // Прикладная математика и вопросы управления. 2018. № 2. С. 30–39. DOI: 10.15593/2499-9873/2018.2.02
12. Горбунов Д.Л., Федосеев С.А. Модель управления конъюнктурой рынка труда предприятия в виде интегрируемой в квадратурах системы нелинейных дифференциальных уравнений // Прикладная математика и вопросы управления. 2019. № 4. С. 90–101. DOI: 10.15593/2499-9873/2019.4.06
13. Обзор рынка труда Пермского края / П.Н. Алиева, П.М. Богомолова, Н. Емелина и др. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 33 с.

14. Численность населения пос. Сылва Пермского района Пермского края. URL: <https://bdex.ru/naselenie/permskiy-kray/n/permskiy/sylva/> (дата обращения: 25.07.2022).

15. АО «Продо птицефабрика Пермская». URL: <https://заводы.рф/factory/prodo-pticefabrika-permskaya/> (дата обращения: 25.07.2022).

References

1. Rofe A.I. (Ed.) *Rynok truda, zanyatost' naseleniya, ekonomika resursov dlya truda* [Labor market, employment of the population, economy of labor resources]. Moscow: MIK Publ.; 2007. 159 p. (In Russ.)

2. Afanasyev A.A., Ponomareva O.S. [The aggregate production function of the Russian economy in 1990–2012]. *Economics and mathematical methods*. 2014;50(4):21–33. (In Russ.)

3. Ivaschchenko S.M. *Dinamicheskaja stohasticheskaja model' obshhegojekonomicheskogo ravno-vesija s bankovskim sektorom I jendogennymi defoltami firm* [Dynamic stochastic model of general economic equilibrium with the banking sector and endogenous defaults of firms]. (In Russ.) Available at: https://eusp.org/sites/default/files/archive/ec_dep/wp/Ec-02_13.pdf (accessed 25.07.2022).

4. Porter L., Steers R. Organizational, Work and Personal Factors in Turnover and Absenteeism. *Psychological Bulletin*. 1973;80(2):151–176.

5. Mobley W., Griffeth R.W., Hand H., Meglino B. Review and Conceptual Analysis of the Employee Turnover Process. *Psychological Bulletin*. 1979;86(3):493–522. DOI: 10.1037/0033-2909.86.3.493

6. Kadyrova A.R. [Staff turnover: an overview of the problem. Part 1. Economic and mathematical models of senior management turnover]. *Control sciences*. 2015;(2):2–12. (In Russ.)

7. Kadyrova A.R. [Staff turnover: an overview of the problem. Part 2. Economic and mathematical models of turnover of non-managerial employees]. *Control sciences*. 2015;(3):2–11. (In Russ.)

8. Lewin J., Sager J. The influence of personal characteristics and coping strategies on salespersons' turnover intentions. *Journal of Personal Selling & Sales Management*. 2010;(4):355–370. DOI: 10.2753/PSS0885-3134300405

9. Gorbunov D.L., Fedoseev S.A. [System-dynamic model for forecasting the qualifications of the staff of an industrial enterprise]. *Mathematical and computer modeling in economics, insurance and risk management*. 2020;(5):66–69. (In Russ.)

10. Gorbunov D.L. Modeling of a closed mono-branch labor market conditions. *Vestnik Permskogo universiteta. Seria Ekonomika = Perm University Herald*. Economy.2018;13(3):357–371. DOI: 10.17072/1994-9960-2018-3-357-371

11. Gorbunov D. L. [On a system of nonlinear differential equations integrable in quadratures]. *Applied Mathematics And Management Issues*, 2018, no. 2, pp. 30 – 39, (In Russ.) doi: 10.15593/2499-9873/2018.2.02

12. Gorbunov D.L., Fedoseev S.A. [The model of control labor market conditions company as a integrability in quadratures system of nonlinear differencial equations]. *Applied Mathematics and Management Issues*. 2019;(4):90–101. (In Russ.) DOI: 10.15593/2499-9873/2019.4.06

13. Alieva P.N., Bogomolova P.M., Emelina N, Zarubaeva A.K., Hodzhaeva A.P. [Overview of the Perm Krai labor market]. Moscow: National Research University Higher School of Economics Publ.; 2020. 33 p. (In Russ.)

14. *Chislennost' naseleniya pos. Sylva Permskogo rayona Permskogo kraya* [The population of the village. Sylva of Permsky district of Perm Krai]. (In Russ.) Available at: <https://bdex.ru/naselenie/permskiy-kray/n/permskiy/sylva/> (accessed 25.07.2022)

15. АО «Продо птицефабрика Пермская» [JSC «Продо Птицефабрика Пермская»]. (In Russ.) Available at: <https://заводы.рф/factory/prodo-pticefabrika-permskaya/> (accessed 25.07.2022).

Информация об авторах

Федосеев Сергей Анатольевич, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия; fsa@gelicon.biz.

Горбунов Даниил Львович, аспирант кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия; call-of-monolit@yandex.ru.

Information about the authors

Sergey A. Fedoseev, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Prof. of the Computational Mathematics, Mechanics and Biomechanics Department, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia; fsa@gelicon.biz.

Daniil L. Gorbunov, Postgraduate Student of the Computational Mathematics, Mechanics and Biomechanics Department, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia; call-of-monolit@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 27.06.2022

The article was submitted 27.06.2022

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

1. **Тематика.** В журнале публикуются статьи по следующим научным направлениям: управление в различных отраслях техники, а также в административной, коммерческой и финансовой сферах; математическое, алгоритмическое, программное и аппаратное обеспечение компьютерных технологий, в том числе компьютерных комплексов, систем и сетей; измерительные системы, приборостроение, радиоэлектроника и связь.

2. Структура статьи:

До основного текста статьи приводят на языке текста статьи и затем повторяют на английском языке (если статья на английском языке, то повторяют на русском языке):

- тип статьи: научная, обзорная, дискуссионная, персоналии, рецензия, краткое сообщение и т. п.;
- УДК;
- название (не более 12–15 слов);
- основные сведения об авторе (авторах):
 - имя, отчество, фамилия автора (полностью);
 - наименование организации (учреждения), адрес организации (город, страна), где работает или учится автор;
 - электронный адрес автора (e-mail);
 - открытый идентификатор ученого (ORCID) при наличии в форме электронного адреса в сети Интернет;
- аннотация (200–250 слов),
- ключевые слова (словосочетания);
- благодарности (при наличии).

Основной текст статьи может состоять из следующих частей:

- введение;
- текст статьи (структурированный по разделам). Допускается деление основного текста статьи на тематические рубрики и подрубрики. Надписи и подписи к иллюстрированному материалу приводят на языке текста статьи и повторяют на английском языке;

- заключение.

После основного текста статьи приводят:

- Список литературы (в порядке цитирования, по ГОСТ Р 7.0.5–2008 для затекстовых библиографических ссылок);

- References (составляется согласно Vancouver Style, при транслитерации используется стандарт BGN), doi предпочтительнее приводить в форме электронного адреса в сети Интернет.

Приводят на языке текста статьи и затем повторяют на английском языке (если статья на английском языке, то повторяют на русском языке):

- дополнительные сведения об авторе (авторах): фамилия, имя, отчество автора (полностью), ученая степень, ученое звание, должность, наименование организации (учреждения), адрес организации (город, страна), e-mail, ORCID;
- сведения о вкладе каждого автора, указание об отсутствии или наличии конфликта интересов;
- даты поступления статьи в редакцию, одобрения после рецензирования, принятия статьи к опубликованию.

3. **Параметры набора:** шрифт – Times New Roman, кегль – 14, интервал между абзацами 0 пт, межстрочный интервал – одинарный, выравнивание – по ширине.

4. **Формулы.** Набираются в редакторе формул MathType либо Microsoft Equation с отступом 0,7 см от левого края. Размер обычных символов – 11 пт, размеры индексов первого порядка – 71 %, индексов второго порядка – 58 %. Номер формулы размещается за пределами формулы, непосредственно после нее, в круглых скобках.

5. **Рисунки и таблицы.** Рисунки имеют разрешение не менее 300 dpi. Рисунки нумеруются и имеют названия (Рис. 1. Здесь следует название рисунка). Таблицы нумеруются и имеют названия (Таблица 1. Здесь следует название таблицы).

6. **Адрес редакционной коллегии.** 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76, корп. 3б, 4-й этаж – Высшая школа электроники и компьютерных наук, отв. секретарю Захарову В.В. Адрес электронной почты ответственного секретаря журнала: zakharovvv@susu.ru.

7. **Подробные требования к оформлению.** Полную версию требований к оформлению статей и пример оформления можно загрузить с сайта журнала <http://vestnik.susu.ru/ctcr>.

8. Плата за публикацию рукописей не взимается.

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДАНИИ

Журнал «Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника» основан в 2001 году.

Учредитель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Главный редактор – д.т.н., проф., засл. деятель науки РФ Логиновский Олег Витальевич.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-57366 выдано 24 марта 2014 г. Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» по следующим научным специальностям и соответствующим им отраслям науки: 2.3.1 (05.13.01) – Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки); 2.3.3 (05.13.06) – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки); 2.3.4 (05.13.10) – Управление в организационных системах (технические науки).

Подписной индекс 29008 в объединенном каталоге «Пресса России».

Периодичность выхода – 4 номера в год.

Адрес редакции, издателя: 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76, Издательский центр ЮУрГУ, каб. 32.

ВЕСТНИК
ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия
«КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
УПРАВЛЕНИЕ, РАДИОЭЛЕКТРОНИКА»
2022. Том 22, № 3

16+

Редакторы: *С.И. Уварова, А.В. Шуватова*
Компьютерная верстка *С.В. Буновой*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 29.07.2022. Дата выхода в свет 12.08.2022. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 20,46. Тираж 500 экз. Заказ 301/225. Цена свободная.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76.