

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И ПРИКЛАДНАЯ
ИНФОРМАТИКА**

№ 3, 2024



**SYSTEM ANALYSIS
AND APPLIED
INFORMATION SCIENCE**

No 3, 2024

**Международный
научно-технический журнал**

Издается с декабря 2012 года

Учредитель

Белорусский национальный
технический университет

Главный редактор

Дробыш Алексей Анатольевич

Редакционная коллегия

Д. В. Капский (зам. главного редактора),
А. М. Авсиевич, А. А. Большаков (РФ),
В. А. Вишняков, Л. С. Герасимович,
А. В. Гулай, Н. Н. Гурский,
Г. О. Кипиани (Грузия),
А. С. Климчик (РФ), А. А. Лобатый,
В. А. Малкин, А. В. Малолетов (РФ),
Ф. М. Нуралиев (Узбекистан),
И. А. Сатиков (ответственный секретарь),
В. В. Старовойтов, Ю. Ф. Яцына

**International
Science and Technical Journal**

Published since December, 2012

Founder

Belarusian National
Technical University

Editor-in-chief

A. A. Drobysch

Editorial board

D. Kapski (deputy editor-in-chief),
A. Ausiyevich, A. Bolshakov (RF),
V. Vishnyakou, L. Gerasimovich,
A. Gulaj, N. Gursky,
G. Kipiani (Georgia),
A. Klimchik (RF), A. Lobaty,
V. Malkin, A. Maloletov (RF),
F. Nuraliev (Uzbekistan),
I. Satikov (executive secretary),
V. Starovoitov, U. Yatsyna

Журнал включен в “Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований”

Журнал включен в международные каталоги и базы данных:

- | | |
|--|---------------|
| ❖ Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) | ❖ EBSCO |
| ❖ Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU | ❖ BASE Search |
| ❖ Электронно-библиотечная система (ЭБС) издательства Лань | ❖ OpenAIRE |
| ❖ DOAJ https://doaj.org/toc/2414-0481 | ❖ WorldCat |
| ❖ Google Scholar | ❖ OpenDOAR |
| ❖ Киберленинка | ❖ ROAR |

Ведущий научный редактор

И. А. Сатиков

Технический редактор

О. Л. Чабарова

Адрес редакции

ул. Франциска Скорины 25/3, Минск, 220114,
Республика Беларусь
Тел. +375 17 266-26-58
e-mail: ca_pi@bntu.by

Executive secretary of the editorial board

I. Satikov

Technical Editor

V. Chabarava

Editorial board address

25/3 Franciska Skariny str., Minsk, 220114,
Republic of Belarus
Tel. +375 17 266-26-58
e-mail: ca_pi@bntu.by

Свидетельство о государственной регистрации средства массовой информации
№1540 от 08.06.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь

Подписано в печать 31.10.2024. Формат бумаги 60x84 1/8. Бумага мелованная.

Цифровая печать. Усл. печ. л. 7,16. Уч.-изд. л. 4,88. Тираж 15 экз. Заказ 744.

Отпечатано в БНТУ. ЛП № 38200000006896 от 03.03.2014.

220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

Ashley Latchu, Shawren Singh

Exploring factors hindering performance of information systems in the south african public sector- evidence from the zondo commission.....5

Ду Сичжоу, Капский Д.В.

Модель размещения зарядных станций электромобилей в мегаполисах на основе алгоритма поиска по воробьям 12

Жук А.А., Булойчик В.М.

Формализация задачи поиска с неизвестным местоположением субъекта на местности.....17

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Павлюковец С.А., Вельченко А.А., Лобатый А.А., Радкевич А.А., Холод П.В., Буйвид А.П.

Влияние конструктивных особенностей на эффективность работы беспилотных летательных аппаратов...23

Albagoush A.A., Abuauba A.B., Kupriyanov A.B.

The influence of dust on the image of solar panel and its operation in Libya.....35

Пэнхао Гу, Лобатый А.А.

Применение нечетких регуляторов в автопилоте беспилотного летательного аппарата.....41

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ

Вишняков В.А.

Использование технологии блокчейн в ит-медицине...48

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ

Кисель Т.В.

Оптимизация моделей конкурсного отбора абитуриентов.....55

CONTENTS

SYSTEM ANALYSIS

Ashley Latchu, Shawren Singh

Exploring factors hindering performance of information systems in the south african public sector- evidence from the zondo commission.....5

Du Sizhuo, Kapski D.V.

A model for placing electric vehicle charging stations in megapolis based on the sparrow search algorithm.....12

Zhuk A.A., Buloichyk V.M.

Formalization of the problem of search with the unknown site of the subject on district.....17

MANAGMENT OF TECHNICAL OBJECTS

Pauliukavets S.A., Velchenko A.A., Lobaty A.A., Radkevich A.A., Kholod P.V., Buivid A.P.

Influence of design features on the efficiency of unmanned aircraft vehicles.....23

Albagoush A.A., Abuauba A.B., Kupriyanov A.B.

The influence of dust on the image of solar panel and its operation in Libya.....35

Gu Penghao, Lobaty A.A.

Application of fuzzy controllers in the autopilot of an unmanned aerial vehicle.....41

DATA PROCESSING AND DESICION-MAKING

Vishniakou U.A.

The use of blockchain technology in it-medicine.....48

INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION

Kisel T.V.

Optimization of competitive selection models of applicants.....55

С юбилеем!

Роман Болеславович ИВУТЬ (к 75-летию со дня рождения)



В августе 2024 г. исполнилось 75 лет со дня рождения заведующего кафедрой «Экономика и логистика» автотракторного факультета Белорусского национального технического университета, члена-корреспондента Национальной академии наук Беларуси, доктора экономических наук, профессора Романа Болеславовича Ивута.

В 1972 г. Роман Болеславович окончил автотракторный факультет Белорусского политехнического института по специальности «Автомобили и тракторы». С 1977 г. по настоящее время работает в Белорусском национальном техническом университете, где прошел путь

от ассистента до заведующего кафедрой. Работал проректором БГПА. В 1980 г. защитил кандидатскую, а в 1990-м – докторскую диссертации. Является членом-корреспондентом Национальной академии наук Беларуси и ведущим ученым в республике по проблемам развития промышленности и транспорта и логистической деятельности.

Благодаря усилиям Романа Болеславовича, направленным на удовлетворение потребностей развивающейся экономики и транспорта Беларуси, в 1995 г. появилось первое определение понятия «логистика», сущность которого раскрыта в учебном пособии, которое стало началом развития логистической отрасли в нашей стране. В 2008 г. в Белорусском национальном техническом университете была открыта специальность «Транспортная логистика». Долгие годы Р. Б. Ивуть вносит свой весомый вклад в подготовку квалифицированных специалистов для науки и промышленности Отечества.

По инициативе Р. Б. Ивута создана и развивается научная школа по разработке концепции реформирования транспортного комплекса республики, моделированию процессов управления регламентированным техническим обслуживанием логистической и лизинговой деятельности в различных отраслях экономики страны.

С 2018 по 2023 г. под руководством Романа Болеславовича защищены 18 диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук (в том числе один соискатель из ФРГ). В настоящее время он руководит семью докторантами (два из Узбекистана) и четырьмя аспирантами (один из Узбекистана).

Профессор Р. Б. Ивуть является признанным авторитетом в области развития транспортно-логистической и лизинговой деятельности в Республике Беларусь. Им опубликовано более 470 научных трудов, включая 19 монографий и около 90 научно-методических пособий. Некоторые научно-методические труды опубликованы за рубежом. Книга «Формирование организационно-экономического механизма управления логистическими системами в дорожном хозяйстве» победила на конкурсе монографий БНТУ в 2008 г., а в 2018 г. за книгу «Экономика предприятий и логистика на транспорте», победившую в конкурсе «Лучшая монография 2018 г.», Р. Б. Ивуть удостоен Диплома БНТУ. Указом Президента Республики Беларусь Р. Б. Ивуть награжден в 2009 г. медалью Ф. Скорины.

Ко дню Вашего 75-летия примите самые горячие поздравления и наилучшие пожелания. Желаем Вам радости, неиссякаемой энергии, прекрасного настроения, успехов и оптимизма. Пусть удача и вдохновение будут Вашими верными спутниками, Ваши знания, накопленный жизненный опыт и мудрость помогут Вам принимать верные решения в любых ситуациях, а жизнь будет полна приятных мгновений!

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

SYSTEM ANALYSIS

ASHLEY LATCHU, SHAWREN SINGH

EXPLORING FACTORS HINDERING PERFORMANCE OF INFORMATION SYSTEMS IN THE SOUTH AFRICAN PUBLIC SECTOR- EVIDENCE FROM THE ZONDO COMMISSION

University of South Africa, Florida, South Africa

This article seeks to ascertain issues in the Commission of Inquiry popularly known as the Zondo Commission that consequently hinder and impede the performance of information systems in the South African public sector. The novelty of this study lies in its thematic perspective on factors that disrupts the public sector from attaining objectives that are spelt out in the South African national strategic goals. Zondo commission final reports are used to explore intrinsic aspects which could explain current threats to information systems. The Zondo Commission covered the period from 2018 to 2022 and reports are available on the State Capture Commission website. The study employs a qualitative research approach by analysing data from the Zondo Commission reports. A qualitative software, Atlas.ti 9 is utilised to demystify macro factors thwarting information systems from operating efficiently and effectively. The usage of the standard software package Atlas.ti 9 is for the purpose of automating the coding procedures for this study by employing specified rules to enable promptness and efficiency in handling vast amounts of textual data, as well as organise, filter, and sort that data. In order to provide direction for this automated analysis, a coding schema is used that identifies the codes or keywords that should be looked for within the text, and should be based on an initial human evaluation of the sample textual data. The textual codes are arranged into relatively high codes or constructions. The coding schema is tested by employing a separate sample of texts in order to check for accuracy and adequateness. The emerging themes from the thematic analysis showed that destabilisation of the public entities' business systems and structures, non-penalisation of offenders, overstating of tender values and lack of goal congruency were the main reason that affected performance of information systems. The study recommends that government employ robust procurement and monitoring systems.

Keywords: Governance, Zondo Commission, South Africa, Public sector, Information Systems

Introduction

The ongoing Fourth Industrial Revolution has changed the landscape on how business entities execute their operations through massive and rapid technological transformations which has affected the architecture of information systems (IS) in organisations [25]. There is no doubt that the future of organisations is heavily depended on incorporation of robust IS to pursue their strategic goals. The lockdowns during COVID-19 pandemic saw corporations migrating from physical to digital ecosystem to ensure business continuity [25]. However, digital transformations raise issues of confidentiality emanating from data provided by key stakeholders such as customers.

Information systems have numerous benefits for government and public entities. One of the significant benefits is improved decision-making. Information systems provide real-time data, which enables government officials and public entities to make informed decisions. For instance, in the healthcare sector, electronic health records (EHRs) enable healthcare practitioners to access patient information, including medical history, allergies, and medication, among others. This information enables healthcare practitioners to make informed decisions regarding patient care [24].

Another benefit of information systems in government and public entities is improved service

delivery. Information systems enable government officials and public entities to provide services more efficiently and effectively. For instance, in the education sector, learning management systems (LMS) enable teachers to create and deliver course content, track student progress, and provide a personalized learning experience. This improves the quality of education and enhances student outcomes [12].

Furthermore, information systems improve the transparency and accountability of government and public entities. According to [16], the use of information systems in government and public entities is critical in promoting transparency and accountability, as it enables the public to access information on the operations and performance of these entities. The use of information systems in government and public entities also promotes accountability, as it enables these entities to track their performance against their stated objectives and identify areas where improvements are needed. For instance, in the finance sector, financial management information systems (FMIS) enable government officials to track budgetary allocations, expenditures, and revenue collections. This information enables government officials to monitor the financial performance of the entity and ensure accountability [28].

The government of South Africa has made efforts to ensure that they are prepared for the digital transformation. The information technology enabling

infrastructure in South Africa include the Ministry of Public Service and Administration (MPSA), Department of Public Service and Administration (DPSA), the State Information Technology Agency (SITA), the Government Information Technology Officers Council (GITOC), the Auditor General and the Department of Planning, Monitoring and Evaluation (DPME) [8]. The MPSA is supported by DPSA, and in charge of technologies in the public sector, it ensures that best practises and norms are set and promoted with an aim of providing excellent functioning of public entities for better service quality to the public [8]. The SITA is governed by the SITA Act 88 of 1998 with a mandate of promoting efficiency in public sector and deliver quality service to the general public through the use of information technology, and IS within a secure digital space [8]. The SITA falls under the auspices of the DPSA. The GITOC is a critical platform that support digitisation in government and public sector and the information technological officers at national and provincial level are tasked in bringing to fruition the vision of integrating technologies in government and public entities business operations [8]. The DPME is entrusted with the mandate of ensuring that they are continuous improvement in performance of government and public entities for the purpose of achieving national strategic goals [8]. The next section reveals literature on IS.

Literature review

IS play a critical role in the efficient and effective operation of government and public entities. They enable the collection, storage, processing, and dissemination of information, which is essential for decision-making and service delivery. Information systems have been used in various government and public entities, including healthcare, education, transportation, and finance, among others. Government and public sector organizations increasingly rely on information systems and technology to efficiently provide services to citizens and function effectively. Several studies have examined the performance and role of these systems in the government and public sector.

Governments around are using IS in their operations for various tasks. Within government organizations, information systems have been shown to streamline operations and work processes. Enterprise resource planning (ERP) systems have been adopted to integrate data and automate back-office functions like human resources, finance, and asset management [15]; [30]; [21]. For example, the Integrated Government Financial Management Information System (IGFMIS) has been implemented in Kenya to facilitate budgeting, expenditure management, and reporting across government agencies [22].

Research also highlights the benefits of implementing data-driven management and business intelligence systems based on big data analytics [5].

Predictive data analysis has improved strategic decision-making in areas like healthcare, transportation, and public safety [1]. For instance, some cities in Asia and Europe have leveraged artificial intelligence and big data to monitor public infrastructure, detect traffic incidents and optimize traffic flow in real-time [17].

The performance of IS in government and public sector is influenced by a variety of elements, of which organisational culture is a significant component. The common ideas, beliefs, and practises that shape the behaviour and activities of individuals inside an organisation are known to as organisational culture. The cultural dimension in an organisation influence the adoption, implementation, and maintenance of information systems in government and public entities. For instance, a culture that values innovation and technology can promote the adoption and effective use of information systems [14]; [10].

Another factor is leadership and management support. Leadership and management support refer to the extent to which leaders and managers in government and public entities support the adoption, implementation, and maintenance of information systems. Leadership and management support can influence the success of information systems by providing resources, incentives, and training for staff. For instance, leadership and management support can the uptake and successful utilisation of IS in public entities through creating a conducive and enabling environment [19]. Furthermore, the availability of resources, including funding, infrastructure, and personnel, can influence the performance of information systems in government and public entities. Adequate resources are required for successful IS deployment and maintenance. Lack of finance, for example, can lead to insufficient deployment and maintenance of IS, resulting in dismal performance and restricted benefits [29].

In addition, one of the important elements influencing the effectiveness of IS in government and public entities is efficiency. According to [26], the efficiency of information systems can be measured by their ability to perform their functions in a timely and cost-effective manner. The level of automation, quality of data, and user training are critical factors that influence the efficiency of information systems in government and public entities. The level of automation refers to the extent to which the information system can automate its functions, reducing the need for manual intervention. The quality of data refers to the accuracy, completeness, and consistency of data stored in the information system. User training is also critical in ensuring the efficient functioning of information systems in government and public entities, as it enables users to effectively utilize the system.

The effectiveness of IS is another key factor that influences their performance in government and public entities. The effectiveness of information systems can be evaluated by their ability to achieve their intended

objectives. According to [3], IS effectiveness in public sector is influenced by several factors, including the alignment of the IS to strategic goals, data quality and the extent of user adoption. The alignment of the IS with the strategic goals ensures that there is support to the entity's core functions. The quality of data ensures that the information system can provide accurate and reliable information, which is critical in decision-making. User adoption is also important in ensuring the effectiveness of information systems in government and public entities, as it determines the extent to which the system is utilized by its intended users.

Despite the numerous benefits of information systems in government and public entities, they also face several challenges. One of the significant challenges is the cost of implementation and maintenance. Information systems require significant investments in infrastructure, software, and personnel, which can be costly for government and public entities, especially those with limited resources [29]. This hindrance is often related to the lack of funding by the government. According to [6]; [13] funding constraints limit the ability of these entities to acquire and maintain information systems, resulting in outdated and inefficient systems. Inadequate funding also limits the ability of government and public entities to train their staff on the use of information systems, resulting in low user adoption.

Another challenge is the lack of technical expertise and skills. Information systems require specialized technical skills, which may not be readily available in government and public entities. This can lead to ineffective implementation and maintenance of information systems, which can result in poor performance and limited benefits [27]. According to [4], the lack of technical expertise limits the ability of government and public entities to effectively design, develop, and implement information systems. Inadequate technical expertise also limits the ability of these entities to effectively maintain and upgrade their information systems. This inevitably affects the output of the information systems.

Resistance to change is a challenge that hinders the performance of information systems in government and public entities. This is often encountered when introducing new information systems, as staff may be hesitant to adopt new technologies or change their work processes. Resistance to change may result in low user adoption, which can negatively impact the performance of information systems in government and public entities [9].

Inadequate infrastructure is a challenge that hinders the performance of information systems in government and public entities. According to [23] inadequate infrastructure limits the ability of government and public entities to effectively implement and utilize information systems. Inadequate infrastructure may include a lack of reliable electricity supply, poor internet connectivity, and inadequate hardware and software resources.

The infrastructure may be unavailable, obsolete, or of poor quality. These infrastructure challenges may result in system downtime, which negatively impacts the performance of information systems in government and public entities.

Furthermore, information systems may face security and privacy concerns. Information systems contain sensitive information, including personal and financial data, which can be targeted by cybercriminals. This can lead to data breaches, which can compromise the confidentiality and integrity of information systems [11]. These breaches can be massive and too expensive to mitigate if they occur. With the current surge in hackers, government systems face a risk of disruption and this can be considered a vice to the systems in the modern technological era [20]. Despite the challenges highlighted in the literature, the South Africa also have some systemic issues that poses challenges to the performance of IS. One of issues is state capture in government and public entities which form the basis of analysing performance of IS in the South African context for this present study.

The Commission of Inquiry into state capture (CISC) was formed in response to the corrective measures recommended in a report penned by the former Public Protector of South Africa in 2016 following allegations of misconduct that implicated ex-President Jacob Zuma and the Gupta [7]. The purpose of CISC was to investigate President Zuma's alleged breach of the Executive Ethics Code by allowing the Gupta to influence the appointment process in the cabinet and public sector entities, to ascertain if Gupta and their related companies received special favours necessitated by President Zuma and Cabinet interference and establish whether the Gupta were corruptly awarded tenders by the public sector entities [7]. The CISC was chaired by Justice Zondo and hence the inquiry was coined the Zondo Commission. The CISC unearthed information on alleged malpractices in the public sector and hence this study sought to establish issues that hinder performance of IS in South African public sector. The study reviewed scholarly articles published between 2017 and 2023 to provide an up-to-date analysis of the challenges faced by IS in the public sector. The next section describes the philosophical assumptions, data collection and analysis methods employed.

Data and methodology

In the context of studying the emerging issues affecting the performance of IS in public entities in South Africa, an interpretivist research philosophy was considered more appropriate. This is because the research topic involves understanding how individuals interpret and give meaning to their experiences with IS. It also involves taking into account the context and the perspective of the documented reports from CISC, which is better suited to qualitative research methods.

An interpretivist approach allows for a more nuanced understanding of the issues affecting the performance of IS in South African public sector. The interpretivism stance enables an exploration of the experiences and perspectives provided in the CISC reports [2]. The study utilises documentary data in the form of CISC reports published in 2022 to gain a comprehensive understanding of IS performance. The analysis of CISC reports followed a systematic approach. Initially, all reports were read thoroughly to gain a comprehensive understanding of the challenges hindering performance of IS. Key themes and emerging issues related to the performance of IS in public entities in South Africa were identified. This approach is good for the study because it allows a more detailed exploration of the findings to highlight factors affecting IS performance in South African public sector [18]. Ethical consideration was taken into account to uphold academic integrity and ensure credible sources are incorporated in the present study.

Findings and discussion

The themes that annotated factors hindering performance of IS in the South Africa public sector are discussed as follows:

Destabilising the public entities business systems and structures

The findings from the CISC reports showed that business operations structure of public entities were deliberately destabilised to facilitate unethical practices. The destabilisation process involved conniving of top management and board representatives to ensure they had firm grip on the procurement processes with an overall aim of obtaining tenders illegally for self-enrichment. Some procurement procedures were centralised to ensure that the powers be lay a claim to tenders of substantial values. Quick procurements were open to abuse as the decision makers would select preferred candidates that they would derive benefits from. The process meant that the centralised decision making on procurements would allow abuse of the process through side-lining corruptive players who weren't compliant to the tender procedures with the intention of getting bribes. The implication of such practices would delay the procurement of key IS and hence hammering performance of the public entities. The weakening allowed room for overpricing and rent-seeking behaviour.

Non-penalisation of offenders

The CISC reports highlighted those who were found committing malpractices that included misconduct were politically side-lined by the presidium and there was impunity for offenders. Political protection encouraged inefficiency in public sector entities and resources were misallocated to satisfy the perpetrators. Protection of offenders also cascaded to the board who would shield the wrongdoers by dismissing and interfering with internal disciplinary processes. This impunity had the potential of

diverting funds meant for improving functionality of IS to corruptive activities.

Overstating of tender values

Public entities in connivance with service providers of information technologies would overvalue services or oversupply beyond what is required by the organisation. A case unearthed in the CISC findings involved a public entity paying for 2200 computers when it had 1100 employees. Another aspect demonstrated that there was no security to safeguard 450 rented computers which disappeared under the watch of the public entity and couldn't be located. The service provider for rented computer continued to receive rentals without the public entity benefiting from the contract. Delays in finalising tender processes meant that public entities continued to suffer financially as a result of shoddy contracts. The tendering process of information technology services followed no due diligence resulting in some service providers being side-lined. The process at times were marred by intimidation of information officers coming from management. The advertised tenders were flouted by the decision makers to suit their preferred organisations.

Lack of goal congruency

The evidence in CISC reports displayed lack of goal congruency which showed that some key personnel in the decision making process acted in a manner that jeopardised the interests of public entities to achieve their strategic goals. This prejudiced public entity to suffer financial losses by favouring expensive service providers of IS over cheap ones, which demonstrated a clear abuse of public office. The findings depicted that there was corruption which necessitated tenders to be awarded to undeserving bidders.

Conclusion

Information systems are playing a critical role in the efficient and effective operation of government and public entities. They enable the collection, storage, processing, and dissemination of information, which is essential for decision-making and service delivery. IS have numerous benefits, including improved decision-making, service delivery, and transparency and accountability. The purpose of the study was to ascertain various factors in the Zondo Commission reports that hindered performance of IS. Amongst the factors included destabilisation of the public entities' business systems and structures, non-penalisation of offenders, overstating of tender values and lack of goal congruency. Governments must implement robust procurement systems and monitoring mechanisms to close loopholes that may potentially be abused and hinder public sector entities from achieving their strategic objectives. The study is limited to documentary data provided in CISC reports in 2022. Further research is needed to understand emerging technologies that can be leveraged to enhance performance of IS in government and public sector.

REFERENCES

1. **Adenyi, N.A.O., Okolo, N.C.A., Olorunsogo, N.T. and Babawarun, N.O.** 2024. Leveraging big data and analytics for enhanced public health decision-making: A global review. *GSC Advanced Research and Reviews* 18(2), pp. 450-456. DOI: 10.30574/gscarr.2024.18.2.0078
2. **Alharahsheh, H.H. and Pius, A.,** 2020. A review of key paradigms: Positivism VS interpretivism. *Global Academic Journal of Humanities and Social Sciences*, 2(3), pp. 39-43.
3. **Al-Ghazi, A., Shen, J., Fosso Wamba, S., Cui, T. and Li, M.,** 2021. A Strategic Alignment Perspective of Public-Sector Organisations in Saudi Arabia in the Digital Transformation Age (Quantitative Study).
4. **Al-Rahbi, Y., Al-Harrasi, S. and Al-Wahaibi, S.,** 2012. Technical factors affecting the adoption of e-government.
5. **Aziz, N.F.** 2023. Data analytics impacts in the field of accounting. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 18(2), pp. 946–951. DOI: 10.30574/wjarr.2023.18.2.0863
6. **Benson, M.B. and Cole, A.,** 2011. Hospital information systems in Nigeria: a review of literature. *The Journal of Global Health Care Systems*, 1(3), pp. 1-26.
7. **CISC.** (2022). Commission of Inquiry into State Capture Reports. Available at: <https://www.statecapture.org.za/site/information/reports>
8. **DPSA.** (2012). Public Service Corporate Governance of Information and Communication Technology Policy Framework. Available at: http://www.dpsa.gov.za/dpsa2g/psictm_documents.asp.
9. **Foli, M.,** 2019. Analysing Change Resistance to an Information Systems-Supported Process in a South African Public Hospital.
10. **Galliers, R.D., Madon, S. and Rashid, R.** 1998. Information systems and culture: Applying 'stages of growth' concepts to development administration. *Information Technology for Development* 8(2), pp. 89-100. DOI: 10.1080/02681102.1998.9525296.
11. **Gupta, B.B. and Agrawal, D.P.** 2021. Security, privacy and forensics in the enterprise information systems. *Enterprise Information Systems* 15(4), pp. 445-447. DOI: 10.1080/17517575.2020.1791364
12. **Hidayati, U., Sumarni, S., Suprpto, S., Ma'rifataini, L., Hanun, F., Taufik, O.A. and Warnis, W.** 2023. The effect of system reliability, information sharing and service quality on e-learning net benefit in public sector organizations. *International Journal of Data and Network Science* 7(3), pp. 1397-1404. DOI: 10.5267/j.ijdns.2023.3.024.12
13. **Ioannou, K., Kitsios, F. and Kamariotou, M.** 2022. Digital Transformation Strategy and Organizational Change in the Public Sector: Evaluating E-Government IS and User Satisfaction. In: *Lecture notes in business information processing*. pp. 247-257. DOI: 10.1007/978-3-030-95947-0_17
14. **Janson, A., Dickhaut, E. and Söllner, M.** 2022. Designing for Cultural Values: Towards a Theory-motivated Method for Culture-sensitive Adaptation of Information Systems. *Proceedings of the ... Annual Hawaii International Conference on System Sciences/Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. DOI: 10.24251/hicss.2022.567
15. **Jayamaha, B.H.V.H., Perera, B.A.K.S., Gimhani, K.D.M. and Rodrigo, M.N.N.** 2023. Adaptability of enterprise resource planning (ERP) systems for cost management of building construction projects in Sri Lanka. *Construction Innovation*. DOI: 10.1108/ci-05-2022-0108
16. **Kim, S. and Cho, K.** 2005. Achieving Administrative Transparency Through Information Systems: A Case Study in the Seoul Metropolitan Government. In: *Lecture notes in computer science*. pp. 113-123. DOI: 10.1007/11545156_11
17. **Kitchin, R., Lauriault, T.P., & McArdle, G.** (2017). Knowing and governing cities through urban indicators, city benchmarking and real-time dashboards. *Regional Studies, Regional Science*, 4(1), 6-28.
18. **Latchu, A.** 2022. Exploration of Corporate Governance Challenges in Public Sector Information Systems- An Auditor General Perspective. *Deleted Journal* 18(1), pp. 465-473. DOI: 10.34190/ecmlg.18.1.828
19. **Lessa, L. and Boudreau, M.C.,** 2011. Effects of information system intent of managers on information systems implementation: case of selected e-government projects in two city administrations in Ethiopia.
20. **Li, C.-Y., Huang, C.-C., Lai, F., Lee, S.-L. and Wu, J.** 2018. A Comprehensive Overview of Government Hacking Worldwide. *IEEE Access* 6, pp. 55053-55073. DOI: 10.1109/access.2018.2871762
21. **Meiryani, N., Fernando, E., Hendratno, S.P., Kriswanto, N. and Wifasari, S.** 2021. Enterprise Resource Planning Systems: The Business Backbone. DOI: 10.1145/3466029.3466049
22. **Njihia, A.W.** 2015. DETERMINANTS OF PERFORMANCE OF INTEGRATED FINANCIAL MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM IN PUBLIC SECTOR IN KENYA: A CASE OF NATIONAL TREASURY. *the Strategic Journal of Business & Change Management* 2(2). DOI: 10.61426/sjbcm.v2i2.164
23. **Nkohlkwo, Q.N.A. and Islam, M.S.,** 2013. Challenges to the successful implementation of e-government initiatives in Sub-Saharan Africa: A literature review. *Electronic Journal of e-government*, 11(1), 252-266.
24. **Rimpilainen, S.** 2015. A Review of Electronic Health Records Systems Around the World. DOI: [org/10.17868/65328](https://doi.org/10.17868/65328)
25. **Ross, P., Maynard, K.** (2021). Towards a 4th industrial revolution. *Intelligent Buildings International*, 13(3), 159-161.
26. **Sala, E.E. and Subriadi, A.P.,** 2023. Hot-Fit Model to Measure the Effectiveness and Efficiency of Information System in Public Sector. *Journal the Winners* 23(2), pp. 131-141. DOI: 10.21512/tw.v23i2.7423

27. Sharon, S.D. 2004. Training the IT-Savvy Public Manager: Priorities and Strategies for Public Management Education. *Journal of Public Affairs Education* 10(1), pp. 5-17. DOI: 10.1080/15236803.2004.12001342
28. Vahedi, M., & Arvand, H. (2020). The Role of Information Systems in Decision-making and Public Policy Making. *Journal of Management and Accounting Studies*, 8(2), 11–14. DOI: 10.24200/jmas.vol8iss2pp11-14
29. Zaid, N.A. and Yusof, M.M. 2022. An Evaluation of a Training Management System Adoption in A Public Sector: A Case Study. *Asia-Pacific Journal of Information Technology and Multimedia* 11(02), pp. 18-39. DOI: 10.17576/apjitm-2022-1102-02
30. Zhang, F. 2022. Design and Implementation of Enterprise Resource Planning Management System. 2022 IEEE Conference on Telecommunications, Optics and Computer Science (TOCS). DOI: 10.1109/tocs56154.2022.10016077

ЭШЛИ ЛАТЧУ, ШАВРЕН СИНГХ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ПРЕПЯТСТВУЮЩИХ РАБОТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ГОСУДАРСТВЕННОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОЙ АФРИКИ - ДАННЫЕ КОМИССИИ ЗОНДО

Университет Южной Африки, Флорида, Южная Африка

Целью данной статьи является выяснение проблем, поставленных Комиссией по расследованию обвинений в захвате государства, коррупции и мошенничестве в государственном секторе, включая государственные органы, которая более известна как Комиссия Зондо или Комиссия по захвату государства. Комиссия выясняла, в том числе и причины, которые препятствуют и затрудняют работу информационных систем в государственном секторе Южной Африки. Новизна данного исследования заключается в его тематическом взгляде на факторы, мешающие государственному сектору достичь целей, изложенных в национальных стратегических целях Южной Африки. Итоговые отчеты Комиссии Зондо используются для изучения внутренних аспектов, которые могут объяснить текущие угрозы информационным системам страны. Работа Комиссии Зондо охватывала период с 2018 по 2022 год, отчеты доступны на сайте Государственной Комиссии по захвату государства. В исследовании используется качественный исследовательский подход путем анализа данных из отчетов Комиссии Зондо. Качественное программное обеспечение Atlas.ti 9 используется для выяснения макрофакторов, мешающих информационным системам работать эффективно и результативно. Использование стандартного пакета программного обеспечения Atlas.ti 9 предназначено для автоматизации процедур кодирования путем применения определенных правил, обеспечивающих быстроту и эффективность обработки огромных объемов текстовых данных, а также их организации, фильтрации и сортировки этих данных. Чтобы задать направление работы автоматического анализа, используется схема кодирования, которая идентифицирует коды или ключевые слова, которые следует искать в тексте. Схема основана на первоначальной оценке образца текстовых данных, проведенных исследователем. Текстовые коды организованы в относительно более высокие коды или конструкции. Схема кодирования тестируется на отдельной выборке текстов с целью проверки точности и адекватности. Выявленные темы тематического анализа показали, что дестабилизация бизнес-систем и структур государственных предприятий, отсутствие наказания правонарушителей, завышение стоимости тендеров и отсутствие соответствия целям были основными причинами, влияющими на работу информационных систем. В исследовании рекомендуется, чтобы правительство использовало более надежные системы закупок и мониторинга.

Ключевые слова: деятельность органов государственной власти, Комиссия Зондо, Южная Африка, государственный сектор, информационные системы

Ashley Latchu. Mr Latchu is currently pursuing his Doctorate in Philosophy (UNISA) with research on corporate governance in the public sector. He has a Masters Degree in Computer Science (UNISA), Honours Degree in Computer Science (UNISA), and Bachelor's Degree in Computer.

Mr. Latchu = ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-5458-2072>

E-mail: ashleylatchu@gmail.com

Эшли Латчу. В настоящее время г-н Латчу работает над докторской степенью по философии (UNISA), исследуя корпоративное управление в государственном секторе. Он имеет степень магистра в области компьютерных наук (UNISA), степень с отличием в области компьютерных наук (UNISA) и степень бакалавра в области компьютерных наук.

Shawren Singh. Prof Shawren Singh PhD, is an associate professor in the School of Computing at the University of South Africa (UNISA). He has spent more than 20 years teaching and researching in the Information Systems space. His current research has focused on digital scholarship and e-Government. He is the Chair of Information Systems in the School of Computing at the University of South Africa.

Prof Singh = ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-5038-0724>

E-mail: singhs@unisa.ac.za

Шаврен Сингх. Профессор Шоурен Сингх, доктор философии, доцент Школы вычислительной техники Южно-Африканского университета (UNISA). Он провел более 20 лет, преподавая и занимаясь исследованиями в области информационных систем. Его текущие исследования сосредоточены на цифровой науке и электронном правительстве. Он является заведующим кафедрой информационных систем в Школе вычислительной техники Южно-Африканского университета.

ДУ СИЧЖОУ, КАПСКИЙ Д.В.

МОДЕЛЬ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В МЕГАПОЛИСАХ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ПОИСКА ПО ВОРОБЬЯМ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Электромобили обладают такими характеристиками, как низкое энергопотребление и низкий уровень шума, и поэтому широко используются в современном обществе, особенно для перемещения в городах и мегаполисах. Активное применение электромобилей (легковых автомобилей и маршрутных пассажирских транспортных средств рельсовых и безрельсовых) в городах и особенно в мегаполисах снижает вредную нагрузку на экосистему поселения и повышает качество жизни в целом. Перемещения становятся менее экологически опасными и способствуют сокращению вредных выбросов в атмосферу в местах проживания и активностей городских жителей и туристов. Использование электромобилей требует их интеграции с зарядными станциями, и выбор разумного места для размещения зарядных станций, что может обеспечить поддержку эксплуатации электромобилей в крупнейших и больших городах, а особенно в мегаполисах. Исходя из этого, в данной статье исследуется проблема размещения зарядных станций для городских электромобилей. Во-первых, основные факторы размещения зарядных станций электромобилей анализируются с разных точек зрения, строится многоцелевая модель выбора адреса зарядной станции, предлагается алгоритмическая модель для улучшения алгоритма поиска по воробьям в качестве основы конкретного метода решения, и, наконец, проверяется эффект применения модели и метода решения путём анализа примеров. Из результатов проверки видно, что по сравнению с традиционным генетическим алгоритмом, алгоритмом роя частиц и другими методами выбора адреса, алгоритм, предложенный в данной статье, является более оптимизированным, что способствует улучшению обоснованности выбора адреса зарядной станции электромобиля и может быть распространён в широких масштабах.

Ключевые слова: электромобили; зарядные станции; алгоритм поиска по воробьям

Введение

Выбор места для зарядной станции электромобиля должен учитывать множество факторов, только комплексное рассмотрение всех аспектов факторов, может повысить рациональность выбора места для зарядной станции. Благодаря многолетней практической работе стало известно, что при выборе места для зарядной станции электромобиля в основном учитываются три фактора, соответственно: Строительство зарядных станций требует больших затрат, таких как затраты на рабочую силу, оборудование, снос существующих зданий, последующие затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание и т. д. [1]. Современные электромобили имеют небольшой запас хода и не могут передвигаться на большие расстояния, поэтому их необходимо своевременно заряжать каждый раз, когда они находятся в движении в течение определенного периода времени. Для достижения этой цели при строительстве зарядных станций необходимо учитывать расстояние между двумя соседними зарядными станциями, т. е. расстояние зарядки [2]. Поэтому при строительстве зарядной станции следует обращать внимание на удовлетворенность пользователей [3]. Стремительный рост числа электромобилей заставляет общественность уделять большое внимание распо-

ложению зарядных станций для электромобилей, научный и разумный выбор места строительства зарядной станции не только может обеспечить пользователям более качественное обслуживание, но и способствует быстрому развитию сферы электромобилей [22-28].

Построение модели

На основе вышеуказанных влияющих факторов и анализа описания проблемы можно построить модель выбора места и компоновки зарядных станций для электромобилей, включающую:

Модель удовлетворенности расстоянием и временем. Из приведенного выше анализа видно, что расстояние зарядки является одним из основных факторов, влияющих на готовность пользователей взимать плату. Если расстояние зарядки короткое, легче получить удовлетворение пользователя, тем самым увеличивая готовность пользователя взимать плату. Наоборот, это снизит удовлетворенность пользователей. Однако следует отметить, что когда уровень удовлетворенности достигнет предела, готовность пользователя взимать плату не будет продолжать расти. Исходя из этого, можно построить модель удовлетворенности расстоянием и временем, и выражение имеет вид:

$$f_i(d_{ij}) = \begin{cases} 0 & d_{ij} > d_{\max} \\ \frac{1}{2} + \cos \left[\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{d_{\max} - d_{\min}} \left(d_{ij} - \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2} \right) \right] & d_{\min} \leq d_{ij} \leq d_{\max} \\ 1 & 0 < d_{ij} \leq d_{\min} \end{cases}, \quad (1)$$

где $f_i(d_{ij})$ – модель удовлетворенности расстоянием и временем, d_{ij} – расстояние между точкой спроса i и зарядной станцией j ; $d_{\min}$ – минимальная удовлетворенность; $d_{\max}$ – максимальная удовлетворенность.

Модель удовлетворения времени ожидания. На зарядной станции установлено несколько зарядных станций. Каждая зарядная станция может одновременно заряжать только один автомобиль. Когда на станции нет простаивающих зарядных станций, другим пользователям приходится ждать напрямую, связанные с удовлетворенностью пользователя. Когда время ожидания превысит определенное значение, пользователи будут искать другие зарядные станции. Исходя из этого, можно построить соответствующую модель и получить выражение:

$$f_i(t_j) = \begin{cases} 0 & t_j > t_{\max} \\ \frac{1}{2} + \cos \left[\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{t_{\max} - t_{\min}} \left(t_j - \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} \right) \right] & t_{\min} \leq t_j \leq t_{\max} \\ 1 & 0 < t_j \leq t_{\min} \end{cases}, \quad (2)$$

где $f_i(t_j)$ – модель удовлетворенности временем ожидания пользователя; t_j – время ожидания пользователя при выборе зарядной станции k ; $t_{\max}$ – максимальное значение времени ожидания; $t_{\min}$ – минимальное значение времени ожидания.

После объединения двух моделей удовлетворенности можно получить комплексную модель удовлетворенности в виде выражения:

$$\rho(w) = 0,0256 + 0,00039w + 0,000034w^2. \quad (3)$$

где $\max F_1$ – модель наивысшего общего удовлетворения; i – порядковый номер точки спроса; I – обозначает количество всех точек спроса в определенном диапазоне; j – порядковый номер зарядной станции кандидата; J – количество всех зарядных станций кандидата; q_i количество заявок на зарядку для точки спроса i ; Y_{ij} – переменная решения 0-1, например, если точка спроса i обращается к зарядной станции кандидата j для получения услуги зарядки, она принимает значение 1, и наоборот, она принимает значение 0.

Модель минимизации затрат. Строительство зарядной станции и последующее управление эксплуатацией и техническим обслуживанием требуют больших затрат, для того чтобы зарядная станция предоставляла пользователям качественные услуги, в то же время, снижая эксплуатационные расходы, можно создать более высокую экономическую выгоду для зарядной станции. В результате, модель

минимизации затрат может быть построена после интеграции различных затрат:

$$\min F_2 = \sum_{j=1}^J (O + \beta N_j + \mu N_j^2) \frac{r_0(1+r_0)^n}{(1+r_0)^n - 1} + \alpha \sum_{j=1}^J (O + \beta N_j + \mu N_j^2) \quad (4)$$

где $\max F_2$ – модель минимизации затрат; r_0 – ставка дисконтирования; μ – коэффициент инвестиций в зарядную станцию за весь ее жизненный цикл; α – коэффициент отношения стоимости эксплуатации и обслуживания к стоимости строительства; β – цена каждой зарядной сваи; O – постоянные инвестиционные затраты; N_j – общее количество зарядных свай на станции.

Для того чтобы оптимизационная модель размещения зарядных станций EV давала точные результаты, необходимо установить разумные ограничения на использование зарядных станций. К основным аспектам относятся следующие:

(1) Он должен удовлетворять потребности пользователей электромобилей в зарядке, т. е:

$$Y_{ij} \leq y_j \forall i \in I \forall j \in J, \quad (5)$$

где Y_{ij} – переменная принятия решения 0-1, которая принимает значение 1, если станция построена в точке j кандидата на строительство зарядной станции, и 0 в противном случае.

(2) Все точки спроса могут быть назначены на соответствующую зарядную станцию, т. е:

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} y_j \geq 1 \forall i \in I. \quad (6)$$

(3) Количество зарядных свай в зарядной станции находится между максимальным и минимальным количеством зарядных свай, необходимых пользователю, т. е:

$$N_{j_{\max \min}} \leq N_j \leq N_{j_{\min \max}} \quad (7)$$

где $N_{\min}$ обозначает минимальное значение количества зарядных свай, требуемых пользователем, а $N_{\max}$ – максимальное значение количества зарядных свай, требуемых пользователем.

(4) Для каждой точки спроса можно посетить только одну зарядную станцию, т. е:

$$\sum_{j \in J} Y_{ij} = 1 \forall i \in I. \quad (8)$$

(5) Общее количество зарядных станций в регионе должно соответствовать фактическим потребностям региона, т. е:

$$\sum_{j \in J} y_j = H, \quad (9)$$

где H – спрос на зарядные станции в регионе.

Процесс работы улучшенного алгоритма поиска по воробьям (ISSA)

В современной компьютерной сфере существует множество методов решения математических моделей, таких как алгоритм серого волка, алгоритм муравьиной колонии, алгоритм поиска капучинов, улучшенный алгоритм поиска по воробьям (ISSA – improved sparrow search algorithm) и т. д. [6-21], каждый алгоритм имеет свои характеристики, среди которых процесс работы алгоритма ISSA прост, скорость сходимости быстрая, а полученные результаты более точные и т. д., поэтому в данном исследовании алгоритм ISSA используется для расчета оптимизационной модели выбора места для зарядной станции электромобиля [4].

Анализ примеров применения и настройка параметров

В качестве объекта исследования для анализа эффективности применения описанной выше модели выбора площадки и алгоритма решения используется определенный условный регион. Регион находится в диапазоне $[0, 50] \times [0, 50]$, который содержит в общей сложности 30 точек спроса с 10 альтернативными площадками. Затем параметры модели и алгоритма устанавливаются в соответствии с вышеизложенным, в том числе: O – устанавливается на уровне 1000000

юаней; β – устанавливается на уровне 100 000 юаней за единицу; минимальное количество зарядных станций, $N_{\min}$, устанавливается на уровне 4, а максимальное – на уровне 20; μ – устанавливается на уровне 20 000 юаней за единицу; $d_{\max}$ устанавливается на уровне 3 км, а $d_{\min}$ – на уровне 1 км; время зарядки автомобиля устанавливается на уровне 60 минут; $t_{\max}$ – 10 мин, $t_{\min}$ – 3 мин, время амортизации оборудования – 20 лет, r_0 – 0,08, α – 0,1, общее количество зарядных станций – 6.

Для того чтобы проверить эффект от применения алгоритма ISSA sparrow при размещении зарядных станций. В данной работе в качестве сравнения выбраны четыре обычных алгоритма, а расчет и анализ размещения зарядных станций производится аналогичным образом. Среди них число итераций установлено на 100, а число популяций – на 30 для расчета выбора места. Кроме того, соответствующие параметры заданы в соответствии с процессом работы различных алгоритмов, как показано в таблице 1.

Анализ результатов

На основе вышеуказанных настроек параметров, путем расчета модели размещения, чтобы получить результаты размещения зарядных станций при различных условиях алгоритма, как показано в таблице 2.

Таблица 1 алгоритмов и их параметров [4-21]

Алгоритм	Основные параметры
Базовый алгоритм поиска воробья (SSA)	Доля первооткрывателей (PD) установлена на 20 %, порог оповещения (R^2) установлен на 0,8, а доля разведчиков (SD) установлена на 10 %
Оптимизация роя частиц (PSO)	Коэффициент обучения установлен на 1, а вес инерции установлен на 0,3
Алгоритм поиска ISSA Sparrow	Доля первооткрывателя (PD) установлена на 20 %, порог оповещения (R^2) установлен на 0,8, доля разведчика (SD) установлена на 10 %, максимальный вес инерции ($\omega_{\max}$) установлен на 1, а минимальный вес инерционный вес ($\omega_{\min}$) установлен на 0,4
Алгоритм Харриса Хоука (HHO)	E1 линейно уменьшается от 2 до 0
Генетический алгоритм (GA)	Вероятность кроссовера установлена на 0,99, а вероятность мутации – на 0,1

Таблица 2. Оптимальные результаты размещения зарядных станций

Индикатор	SSA	PSO	ISSA	HHO	GA
номер	[2,3,5,6,7,9]	[4,2,7,10,8,5]	[4,6,10,2,7,5]	[5,10,6,7,8,2]	[2,8,5,6,4,7]
целевая функция F1	$7,349 \times 10^{-2}$	$5,884 \times 10^{-2}$	$7,894 \times 10^{-2}$	$7,241 \times 10^{-2}$	$7,620 \times 10^{-2}$
целевая функция F2	$4,035 \times 10^{-3}$	$3,878 \times 10^{-3}$	$4,196 \times 10^{-3}$	$4,871 \times 10^{-3}$	$5,789 \times 10^{-3}$
целевая составная функция F	0,1544	0,2398	0,1259	0,1875	0,1930

Из результатов анализа видно, что среди пяти алгоритмов F-значение алгоритма SSA составляет 0,1544, F-значение алгоритма PSO – 0,2398, F-значение алгоритма ISSA – 0,1259, F-значение алгоритма ННО – 0,1875, а F-значение алгоритма GA – 0,1930, самое высокое среди алгоритма PSO и самое низкое среди алгоритма ISSA, что указывает на то, что результаты, полученные алгоритмом ISSA, являются наиболее оптимальными. С точки зрения сходимости значения пригодности, алгоритм ISSA сходится быстрее и имеет самое низкое значение пригодности, которое уменьшается до 0,125 при количестве итераций 30; алгоритм PSO и алгоритм SSA сходятся

быстрее, но значение пригодности находится на высоком уровне, составляя около 0,24 и 0,15 соответственно. Алгоритм ISSA дает оптимальные результаты и работает лучше других четырех алгоритмов.

Заключение

Авторами предлагается модель размещения зарядных станций для электромобилей, основанные на улучшенном алгоритме ISSA. Благодаря применению разработанной модели можно определить наилучшее местоположение зарядной станции и снизить затраты на строительство, эксплуатацию и обслуживание зарядных станций.

REFERENCES

1. Xiao Zhiliang, Wang Lijuan, Zheng Yanyu. Research on site selection strategy for new energy vehicle charging stations based on particle swarm optimization algorithm [J]. Transportation Technology and Management, 2024, 05(04): 38-40.
2. Jiang Jinjian, Zhu Weigang. Optimization of electric vehicle charging pile layout based on adaptive particle swarm algorithm [J]. Journal of Anqing Normal University (Natural Science Edition), 2023, 29(04): 47-51.
3. Zeng Xueqi. Research trends on location optimization of electric vehicle charging facilities in transit - Comparative study of network-based and meta-network modeling solution methods [J]. Urban Transportation, 2023, 21(05): 125-127.
4. Hao Huimin, Wang Gaili, Zhang Bo. Research on location selection of new energy vehicle charging stations based on accurate center of gravity method - taking Urumqi as an example [J]. China Storage and Transportation, 2023, 22(05): 79-80.
5. Liu Liang, Liu Fuhua, Gong Tao, etc. A brief discussion on the location and capacity optimization strategies of charging stations (piles) based on charging needs [J]. Times Automobile, 2022, 30(14): 116-118.
6. Analiz algoritmov obnaruzhenija dorozhno-transportnyh incidentov na skorostnyh avtomagistraljah, ispol'zujushhih stacionarnye detektory transporta / D.B. Navoj, D.V. Kapskij, N.V. Filippova, I.N. Pugachev // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika. – 2023. – № 4. – P. 37-49. – DOI: 10.21122/2309-4923-2023-4-37-49.
7. Analiz mirovogo opyta v primenenii iskusstvennogo intellekta v sistemah upravlenija dorozhnym dvizheniem razlichnogo urovnja / D. B. Navoj, D. V. Kapskij, N. A. Filippova, I. N. Pugachev // Sistemnyj analiz i prikladnaja informatika. – 2024. – № 1. – P. 26-36. – DOI 10.21122/2309-4923-2024-1-26-36. – EDN YFVQAE.
8. Yang X.S., Deb S. Engineering optimisation by cuckoo search // Int. J. Math. Modell. Numer. Optim. 2010. V. 1. No. 4. P. 330–343.
9. Mirjalili S., Lewis A. The whale optimization algorithm // Advanc. Engin. Software. 2016. V. 95. P. 51–67.
10. Mirjalili S. SCA: a sine cosine algorithm for solving optimization problems // Knowledge-Based Syst. 2016. V. 96. P. 120–133.
11. Heidari A.A., Mirjalili S., Faris H., et al. Harris hawks optimization: Algorithm and applications // Future Generat. Comput. Syst. 2019. V. 97. P. 849–872.
12. Jain M., Singh V., Rani A. A novel nature-inspired algorithm for optimization: Squirrel search algorithm // Swarm Evoluti. Comput. 2019. V. 44. P. 148–175.
13. Fathollahi-Fard A.M., Hajiaghaei-Keshteli M., Tavakkoli-Moghaddam R. Red deer algorithm (RDA): a new nature-inspired meta-heuristic // Soft Comput. 2020. V. 24. P. 14637–14665.
14. Xue J., Shen B. A novel swarm intelligence optimization approach: sparrow search algorithm // Syst. Sci. Control Engin. 2020. V. 8. No. 1. P. 22–34.
15. Braik M., Sheta A., Al-Hiary H. A novel meta-heuristic search algorithm for solving optimization problems: capuchin search algorithm // Neural Comput. Appl. 2021. V. 33. P. 2515–2547.
16. Abualigah L., Yousri D., Abd Elaziz M., et al. Aquila optimizer: a novel metaheuristic optimization algorithm // Comput. Indust. Engin. 2021. V. 157. P. 107250.
17. Braik M.S. Chameleon Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for solving engineering design problems // Expert Syst. Appl. 2021. V. 174. P. 114685.
18. Yang Z., Deng L., Wang Y., et al. Aptenodytes forsteri optimization: Algorithm and applications // Knowledge-Based Syst. 2021. V. 232. P. 107483.
19. Xue J., Shen B. Dung beetle optimizer: A new meta-heuristic algorithm for global optimization // J. Supercomput. 2023. V. 79. No. 7. P. 7305–7336.
20. Zhong C., Li G., Meng Z. Beluga whale optimization: A novel nature-inspired metaheuristic algorithm // Knowledge-Based Syst. 2022. V. 251. P. 109215.
21. Wang Z., Liu P., Cui J., Xi Y., Zhang L. Research on quantitative models of electric vehicle charging stations based on principle of energy equivalence // Mathematical Problem In Engineering. – 2013. – № 3. – P. 959–965.

22. Cui S., Zhao H., Wen H., Zhang C. Locating multiple size and multiple type of charging station for battery electricity vehicles // Sustainability. – 2018. – № 10. – P. 32–47.
23. Wolpert D.H., Macready W.G. No free lunch theorems for optimization // IEEE Transactions on Evoluti. Comput. 1997. V. 1. No. 1. P. 67–82.
24. Frade I., Ribeiro A., Goncalves G., Antunes A. Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in a Neighborhood in Lisbon, Portugal // Transportation Research Record. – 2011. – № 2. – P. 91–98.
25. Gimenez-Gaydou D. A., Ribeiro A. N., Gutierrea J., Antunes A.P. Optimal location of battery electric vehicle charging stations in urban areas: A new approach // International Journal of Sustainable Transport. – 2016. – № 10. – P. 393–405.
26. Ghamami M., Nie Y., Zockaie A. Planning charging infrastructure for plug-in electric vehicles in city centers // International Journal of Sustainable Transport. – 2016. – № 10. – P. 343–353.
27. He S., Kuo Y.H., Wu D. Incorporating institutional and spatial factors in the selection of the optimal locations of public electric vehicle charging facilities: A case study of Beijing, China // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2016. – № 7. – P. 131–148.
28. Mehrjerdi H., Hemmati R. Stochastic model for electric vehicle charging station integrated with wind energy // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2020. – № 37. – P. 157–177.

DU SIZHUO, KAPSKI D.V.

A MODEL FOR PLACING ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS IN MEGAPOLIS BASED ON THE SPARROW SEARCH ALGORITHM

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Electric vehicles have such characteristics as low energy consumption and low noise level, and therefore are widely used in modern society, especially for movement in cities and megacities. Active use of electric vehicles (passenger cars and rail and trackless passenger transport) in cities and especially in megalopolises reduces the harmful impact on the ecosystem of the settlement and improves the quality of life in general. Movements become less environmentally hazardous and help to reduce harmful emissions into the atmosphere in places of residence and activities of city residents and tourists. The use of electric vehicles requires their integration with charging stations, and the choice of a reasonable location for the placement of charging stations, which can support the operation of electric vehicles in the largest and large cities, and especially in megalopolises. Based on this, this article examines the problem of placing charging stations for urban electric vehicles. First, the main factors of placing electric vehicle charging stations are analyzed from different points of view, a multi-purpose model for choosing the address of the charging station is built, an algorithmic model is proposed to improve the sparrow search algorithm as the basis for a specific solution method, and finally, the effect of applying the model and solution method is verified by analyzing examples. From the verification results, it can be seen that compared with the traditional genetic algorithm, particle swarm algorithm and other address selection methods, the algorithm proposed in this paper is more optimized, which helps to improve the validity of choosing the address of the electric vehicle charging station and can be widely distributed.

Keywords: *electric vehicles; charging stations; sparrow search algorithm*

Ду Сичжоу, аспирант кафедры «Транспортные системы и технологии» Белорусского национального технического университета, магистр. Область интересов: моделирование транспортных процессов и систем, развитие экологически чистых видов транспорта и проектирование «зеленых» транспортных систем городов и мегаполисов.

Du Sizhuo, postgraduate student of the Department of Transport Systems and Technologies of the Belarusian National Technical University, master's degree. Area of interest: modeling of transport processes and systems, development of environmentally friendly types of transport and design of "green" transport systems of cities and megalopolises.

Капский Денис Васильевич, доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры «Транспортные системы и технологии» Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области организации движения, технических средств регулирования и информационно-алгоритмического обеспечения управления движением, транспортного планирования и математического моделирования процессов транспортных систем.

Kapski Denis Vasilievich, Doctor of Technical Sciences, Professor. Professor of the Department of Transport Systems and Technologies of the Belarusian National Technical University. Conducts research in the field of traffic management, technical means of regulation and information and algorithmic support for traffic control, transport planning and mathematical modeling of transport systems processes.

E-mail: d.kapsky@bntu.by

ЖУК А.А., БУЛОЙЧИК В.М.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ПОИСКА С НЕИЗВЕСТНЫМ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕМ СУБЪЕКТА НА МЕСТНОСТИ

Военная академия Республики Беларусь
г. Минск, Республика Беларусь

Материал статьи посвящен вопросу принятия управленческого решения на организацию поиска некоторого субъекта, способного применить деструктивные действия по отношению к объекту особого внимания. Характерной чертой подобной задачи является необходимость принятия решения по управлению подразделениями, назначенными для поиска в условиях отсутствия достоверной исходной информации о местонахождении субъекта, ограниченных имеющихся сил и резкого дефицита времени.

Ключевые слова: задача поиска, математическое программирование, квазиоптимальное распределение, оценка эффективности

Введение

Одной из актуальных военно-прикладных задач, решаемых на практике, является поддержка принятия решений на эффективное применение подразделений, предназначенных для борьбы с субъектом противника (СП), имеющего целью выполнение деструктивных действий по отношению к некоторым объектам нашего внимания на местности, расположенным в районе ответственности.

Как правило, в начальной постановке такой задачи поиска о местоположении СП не известно, а известен лишь сам факт его наличия в некотором районе местности R . Также может быть указано множество его предполагаемых целевых установок, направленных на выполнение каких-то деструктивных действий по отношению к предполагаемым объектам внимания O_j .

Будем считать, что эффективное управление процессом решения задачи поиска предполагает такую организацию действий подчиненных подразделений, которая обеспечивает наименьшее время установления точного местоположения СП при рациональном использовании выделяемых ресурсов.

С учетом сформированных условий о неизвестном местоположении СП можно предположить, что его координаты являются случайными величинами, равномерно распределенными в некоторой области Y района R ($Y \subset R$). Для упрощения последующих рассуждений область Y аппроксимируем прямоугольником. Обратим внимание, что все другие возможные законы распределения местоположения СП будут вносить определенность в условия задачи и способствовать успешному ее решению. Это означает, что всякое возможное последующее уточнение исходной информации будет способствовать повышению эффективности решения поставленной задачи.

Оценка предполагаемого времени движения субъекта до объекта внимания

В соответствии с равновероятным распределением координат СП предварительно принимается решение о том, что исходной для последующих расчетов выбирается координата y_d центра прямоугольника. Эта координата также может быть задана, например, исходя из субъективного представления командиром возможного ее местонахождения.

От этой точки на местности до предполагаемого объекта внимания (пусть это будет O_1) с помощью алгоритма [1] находится путь l , время движения по которому наименьшее, т. е. $l(t_{\min})$. При его построении учитываются свойства каждой дискреты местности и допустимая скорость передвижения СП, являющаяся функцией проходимости местности.

С точки зрения наивысшего предотвращения вредоносных действий СП это самый «неприятный» для нас путь. В принятых условиях он требует быстрых и эффективных наших решений, чтобы успеть предотвратить выход СП к объекту O_1 . И, наоборот, для СП он является наиболее выгодным, так как минимизирует время выполнения им своей боевой задачи.

С учетом неизвестных нам намерений СП и предполагаемых скрытых от окружающего наблюдателя его действий, следует принять, что при движении СП к объекту, скорее всего, оно будет обходить населенные пункты и просматриваемые зоны визуального наблюдения, возможные места расположения наших воинских формирований, учитывать защитные свойства местности, и т. п. Вероятно, оно будет учитывать множество и других свойств местности и факторов, которые либо препятствуют, либо способствуют выполнению ему своей боевой задачи и которые за противника трудно предсказать. Это позволяет считать, что время движения СП по выбранному им (предполагаемым нами и реализуемому

им) пути можно принять случайной величиной t , распределенной в некотором интервале $[t_{\min}, t_{\max}]$ по некоторому закону $f(t)$ с параметрами $M(t)$ и $\delta(t)$. Если принять на интервале $[t_{\min}, t_{\max}]$ закон распределения $f(t)$ равномерным, то в соответствии с [2] математическое ожидание рассчитывается по формуле:

$$M(t) = \frac{(t_{\max} + t_{\min})}{2}. \quad (1)$$

В этом случае среднеквадратическое отклонение времени движения СП к объекту O_1 записывается по формуле:

$$\delta(t) = \frac{(t_{\max} - t_{\min})}{2\sqrt{3}}. \quad (2)$$

Знания закона распределения предполагаемого времени движения и его параметров позволит оценить наиболее вероятный резерв времени $M(t)$ (от момента), имеющийся для предотвращения деструктивных действий СП по выбранному объекту O_1 . При известной средней скорости передвижения эти величины позволяют оценить возможное его местоположение на текущий момент времени t при заданной исходной системе предположений (т. е. что в момент времени t_0 группа находилась в точке D и движется к выбранному объекту). Подобные оценки необходимо иметь для остальных объектов внимания $O_j, j = 1, n$. С учетом того, что их может быть несколько, интерес представляет оценка степени опасности возможного текущего местоположения СП по отношению к каждому из них.

Оценка степени опасности текущего местоположения СП по отношению к объекту

Оценки степени опасности СП должны выполняться также с учетом влияния информации о местности и ее свойств. Подход к их получению рассмотрим на примере двух объектов O_1 и O_2 , рисунок 1.

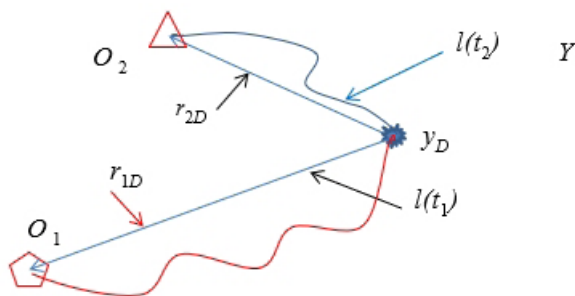


Рисунок 1. Пример оценки степени опасности возможного местоположения субъекта для двух объектов внимания

Интуитивно следует, что при неизвестном местоположении СП более значимую опасность для каждого из объектов внимания представляет то пред-

полагаемое его местоположение (т. е. координата на местности), которое ближе.

Так из рисунка 1 следует, что $r_{1D} > r_{2D}$. Для сложившихся условий это означает, что координата y_D (при условии, что именно там находится СП) представляет большую опасность для объекта O_2 , чем для O_1 . Однако в случае равной удаленности объектов от предполагаемого местоположения время движения к ним может быть различным, что определяется проходимость местности, способом передвижения и используемым транспортным средством (если СП его использует).

Поэтому решение о степени опасности координаты y_D для каждого из объектов примем исходя из компромиссного соотношения этих двух частных показателей, получаемого с помощью аддитивной свертки значений расстояния и времени. Для первого объекта O_1 значение этого показателя рассчитывается по выражению:

$$\rho_D = \alpha \cdot t_{1D} + \beta \cdot r_{1D}, \quad (3)$$

где t_{1D} – прогнозируемое время движения СП от точки y_D до объекта O_1 ; r_{1D} – расстояние от точки y_D до объекта O_1 ; α и β – коэффициенты, характеризующие уровень предпочтительности показателей времени t и расстояния r друг относительно друга (при этом большее значение соответствует большей предпочтительности), где $\alpha + \beta = 1$. Конкретные значения этих коэффициентов могут задаваться экспертно или из субъективного представления поведения СП в конкретной сложившейся обстановке.

Значение показателя опасности предполагаемых текущих координат СП для объекта O_1 рассчитывается по формуле:

$$\pi_{1D} = \frac{1}{\rho_D}, \rho_D > 0. \quad (4)$$

Пример расчета и построения изолиний (линий разных значений) показателя опасности $\pi(\rho) = \pi(r, t)$ для объекта приведен на рисунке 2. Здесь для возможного пути движения СП и различных значений $\rho = \rho(r, t)$ построена совокупность изолиний $\pi(\rho_3) > \pi(\rho_2) > \pi(\rho_1)$ для условий $\rho_3 < \rho_2 < \rho_1$.

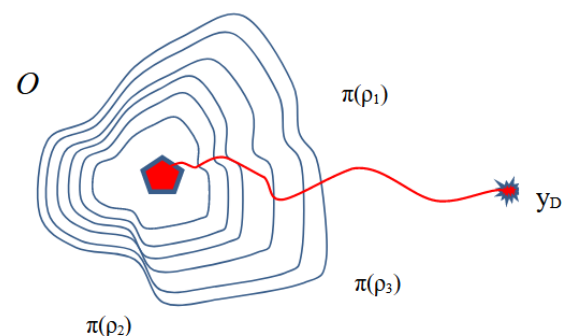


Рисунок 2. Пример построения линий разных значений показателя опасности

Из рисунка 2 следует, что чем больше значение показателя π (т. е. чем ближе по расстоянию и меньше по времени передвижения находится рассматриваемая координата к объекту), тем предполагаемое текущее местоположение будет более опасно для данного объекта O .

С точки зрения возможных целевых установок СП множество объектов внимания $O_j, j = 1, n$, находящихся в зоне R , как правило, имеют различную важность, которую следует учитывать при организации противодействия.

Будем считать известными (заданными) компоненты вектора $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, характеризующие распределение важности объектов внимания

$O_j, j = 1, n$, друг относительно друга, при этом $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.

Тогда векторный показатель опасности Π_o каждого из объектов внимания O_j , определяемый для всего множества окружающих его координат g , оценивается с помощью выражения:

$$\Pi_o = \{\Pi_1(r, t), \Pi_2(r, t) \dots \Pi_n(r, t)\},$$

где $\Pi_j(r, t) = w_j \cdot \pi_i(r, t), j = 1, 2 \dots n, i = 1, 2 \dots g$. (5)

На рисунке 3 для принятой системы предположений по результатам прогностического моделирования на основе цифровой карты местности представлен «портрет» местонахождения СП в заданные моменты времени (t_0, t_1, t_2).

Как видно из рисунка 3, в начальный момент времени t_0 СП находится в точке y_D .

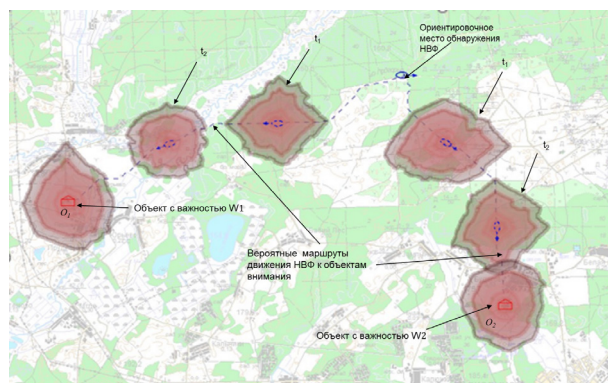


Рисунок 3. Построение вероятностного портрета местонахождения субъекта для принятой системы предположений

Его целью является выполнение деструктивного действия по отношению к объекту внимания O_1 или O_2 (в общем случае: предположительно СП может перемещаться к одному из объектов $O_j, j = 1, n$). Объекты имеют значимость (важность) друг относительно друга w_1 и w_2 (в общем случае – $w_j (j = 1, n)$). Траектория движения СП зависит от его модели поведения, которая определяет: будет оно двигаться по открытой местности либо лесными тропами, использовать транспортные средства или нет, и т. д. и т. п.

(все это учитывается с помощью методики, изложенной в [1]). При этом скорость движения определяется проходимость каждой дискреты местности, представленной цифровой картой. Вероятное местонахождение СП на рисунке 3 обозначено выделенной областью. Такая же область для объектов показывает степень их опасности.

Рассмотрим, как в заданных условиях полученная информация может служить основанием для принятия решения на организацию поиска СП.

Математическая формулировка показателя качества решения задачи поиска субъекта на местности

Пусть в нашем распоряжении имеются определенные силы и средства (группы военнослужащих-разведчиков, самолет разведчик, БПЛА, автожир и т. д.) для проведения поисковых мероприятий. Для конкретизации рассматриваемой задачи поиска СП примем, что каждая поисковая единица (ПЕ), находящаяся в момент времени t_0 на участке местности d_j заданного размера и просматривающая его, способна к обнаружению вооруженных воинских формирований с вероятностью p_{ij} . Оценка показатель p_{ij} является нетривиальной задачей, зависит от многих свойств объекта и средств обнаружения и требует проведение дополнительных исследований, поэтому в рамках данной статьи не рассматривается.

Поставим целью построение такого распределения поисковых единиц по предполагаемым и предварительно рассчитанным с помощью выше предложенной формализации зонам местонахождения СП (районам $d_1, d_2, \dots, d_k$), проведение там поисковых мероприятий (т. е. проведение там разведки), которое могло бы оптимизировать выбранный показатель эффективности.

В качестве критерия эффективности примем максимум полной вероятности обнаружения СП при просмотре всех зон $d_1, d_2, \dots, d_k$, т. е.

$$P(x) = \sum_{i=1}^m w_i \cdot \Pi_i(r, t) \cdot \left[1 - \prod_{j=1}^k (1 - p_{ij} x_{ij}) \right] \rightarrow \max, \quad (6)$$

где m – количество поисковых единиц; k – количество районов для поиска СП; p_{ij} – значение вероятности обнаружения СП i -м поисковым средством в j -м районе; x_{ij} – параметр, принимающий значение 1, если i -е поисковое средство назначается для выполнения поиска СП в j -м районе, и 0, если i -е средство не назначается; w_i – априорная вероятность нахождения СП в каждом j -м районе поиска.

При этом необходимо учесть ограничения по времени T необходимого для перемещения в район поиска СП (рисунок 4). Оно должно быть меньше прогнозного времени движения $M(t)$ СП к выбранному объекту $O_1(O_2)$. Для поисковых единиц, зависящих от запаса топлива (например, БПЛА) требуется

ЛИТЕРАТУРА

1. Булойчик В. М. Решение задачи перехвата и блокирования вооруженного незаконного формирования с использованием цифровой карты местности / В. М. Булойчик [и др.] // Наука и воен. безопасность. – 2016. – № 3 (50). – С. 23–29.
2. Вентцель Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Советское радио, 1972. – 430 с.
3. Жук А. А. Нейросетевой метод решения нелинейной задачи оптимального распределения неоднородного ресурса / А. А. Жук, В. М. Булойчик // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – № 1. – С. 45–52.
4. J. J. Hopfield, D. W. Tank. «Neural» Computation of Decisions in Optimization Problems // Biological Cybernetics. – 1985. – № 52. – P. 141–152.

REFERENCES

1. Buloichik V. M. Reshenie zadachi perehvata i blokirovaniya vooruzhennogo nezakonnogo formirovaniya s ispol'zovaniem tsifrovoi karty mestnosti / V. M. Buloichik [i dr.] // Nauka i voen. bezopasnost'. – 2016. – № 3 (50). – S. 23–29.
2. Venttsel' E. S. Issledovanie operatsii / E. S. Venttsel'. – M. : Sovetskoe radio, 1972. – 430 s.
3. Zhuk A. A. Neirosetevoi metod resheniya nelineinoy zadachi optimal'nogo raspredeleniya neodnorodnogo resursa / A. A. Zhuk, V. M. Buloichik // Sistemnyi analiz i prikladnaya informatika. – 2021. – № 1. – S. 45–52.
4. J. J. Hopfield, D. W. Tank. «Neural» Computation of Decisions in Optimization Problems // Biological Cybernetics. – 1985. – № 52. – P. 141–152.

ZHUK A.A., BULOICHYK V.M.

FORMALIZATION OF THE PROBLEM OF SEARCH WITH THE UNKNOWN SITE OF THE SUBJECT ON DISTRICT

*Military academy Republic of Belarus
Minsk, Republic of Belarus*

Article material is devoted a question of acceptance of the administrative decision on the organisation of search of some subject, capable to apply destructive actions in relation to object of special attention. Characteristic line of a similar problem is necessity of decision-making on management of the divisions appointed for search in the conditions of absence of the authentic initial information on a site of the subject, the limited available forces and sharp deficiency of time.

Keywords: *a search problem, mathematical programming, quasi-optimal distribution, an efficiency estimation*



Жук Андрей Александрович, доцент, кандидат технических наук, область научных интересов – системный анализ, методы математического программирования, методы и алгоритмы нейросетевой технологии обработки информации.

Zhuk A.A., PhD, associate professor, deputy head of the Department of Information and computing systems, Military academy Republic of Belarus.

E-mail: k210@tut.by



Булойчик Василий Михайлович, профессор, доктор технических наук, основное направление научной деятельности – разработка специального математического и программного обеспечения для автоматизированных систем управления, компьютерных военных игр и тренажных систем; разработка методов нейросетевой обработки информации и их применение в системах военного назначения.

Buloichyk V.M., Doctor of technical sciences, professor, head of Research laboratory of modeling military actions, Military academy Republic of Belarus.

E-mail: vas-mih@tut.by

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ
ОБЪЕКТАМИ**

**MANAGEMENT
OF TECHNICAL
OBJECTS**

ПАВЛЮКОВЕЦ С.А., ВЕЛЬЧЕНКО А.А., ЛОБАТЫЙ А.А., РАДКЕВИЧ А.А., ХОЛОД П.В., БУЙВИД А.П.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

В работе рассмотрен обзор различных конструкций беспилотных летательных аппаратов серии «FPV-дрон». Проведено имитационное моделирование конструкции беспилотных летательных аппаратов на упруго-деформационные свойства корпуса. Проведен частотно-резонансный анализ и термический анализ конструкции летательного мобильного робота, что позволило проанализировать конструктивные особенности строения летательного мобильного робота и дать рекомендации по выбору материалов и элементов для обеспечения наиболее прочностных характеристик.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, имитационная модель, «FPV-дрон», мультикоптер, миникоптер, микрокоптер, частотно-резонансный анализ, термический анализ

Введение

С развитием авиации и робототехники, на сегодняшний день всё большее распространение получают беспилотные летательные аппараты (БЛА). В последнее время можно встретить термин «FPV-дрон», что фактически является беспилотным летательным аппаратом оснащенным, как правило, видеокамерой на борту. БЛА широко используются для аэрофотосъемки, для внесения удобрений и ядохимикатов (так называемые агродроны). В связи с конструктивными особенностями FPV-дроны классифицируются:

1. «мультикоптер» (или «мультиротор»), данный термин применяется для любого «коптера», который имеет более одного основного мотора или пропеллера [2], например трикоптер оснащается тремя двигателями, квадрокоптер оснащается четырьмя моторами, гексакоптер имеет шесть моторов, октокоптер – восемь и так далее.



Рисунок 1. Пример конструкций квадрокоптера и миникоптера [1]

2. Миникоптер — это фактически малого размера квадрокоптер, данную конструкцию называют FPV-дрон. Из-за малых габаритов данные

мини-квадрокоптеры (2) являются быстрыми, маневренными и устойчивыми к авариям. На сегодняшний день данные FPV-дрон имеет более мощные двигатели, более емкие аккумуляторы и большую дальность полета. Также современные модели имеют хорошее соотношение мощности к весу и могут развивать скорость до 290 км/ч.



а



б

Рисунок 2. Миникоптеры:

а) с лопастями 5 дюймов (слева), с лопастями 2 дюйма (справа); б) 4-дюймовый FPV-дрон массой до 250 грамм. [1]

FPV-дрон с 5-дюймовыми винтами являются универсальными, с отличным балансом между мощностью, эффективностью и маневренностью (рис. 2, а). Данные модели часто используются для полетов вольным стилем, гонок и дальних полетов. Данные модели чаще всего оснащаются экшн-камерой (GoPro), вес их достигает вместе с аккумуляторной батареей 500-700 граммов, а средняя максимальная скорость до 120 км/ч. Так же очень популярны 4-дюймовые FPV-дрон из-за введения в некоторых странах ограничения веса в 250 грамм беспилотного летательного аппарата (рис. 2, б).

3. Микрокоптер – это 2-х дюймовые, 2,5 дюймовые и 3-х дюймовые FPV-дроны небольшого размера с малым весом и достойной производительностью (рис. 2, а и рис. 3). Данные модели по конструкции аналогичны 5-ти дюймовым микрокоптерам, единственное, из-за малых габаритов, оснастить их экшн-камерой GoPro не представляется возможным.



Рисунок 3. Микрокоптеры с пропеллерами диаметром 3 дюйма и меньше, размер рамы 150 мм и меньше

4. Tiny Whoops – данная категория FPV-дронов является очень легкой (20-30 граммов с аккумуляторной батареей) и предназначенная для полетов в помещении. Данный вид БЛА имеет конструктивные особенности, которая заключается в оснастке защитного кожуха в виде кольцевого ободка по окружности пропеллера. Защитный кожух служит защитой от соприкосновения пропеллера с окружающими предметами, это в свою очередь утяжеляет конструкцию БЛА и снижает его производительность. Тип Tiny Whoops FPV-дрона не особо подходит для полетов на открытом воздухе.



Рисунок 4. Tiny Whoops FPV-дрона для полетов в помещении

5. Сверхлегкие дроны имеют небольшой размер и вес, внешне выглядят как связка зубочисток и поэтому получили название «зубочистки». Данные БЛА предназначены для демонстрации возможности (трюковых элементов).

6. Cinewhoops это разновидность дрона с пропеллерами до 3-х дюймов вокруг которых находятся защитные кольца (рис. 5). Данные модели оснащены HD-камерой типа GoPro. Серия Cinewhoops дронов нашла свое применение для ведения киносъемки. Стиль полета данного дрона медленный и плавный, что безопасно для полета в помещении.



Рисунок 5. Серия Cinewhoops дронов с HD-камерой для ведения киносъемки

7. Дроны с 6 и 7-ми дюймовыми пропеллерами выделяют в отдельный класс БЛА. Данная серия дронов имеет более высокую грузоподъемность могут нести более крупный груз или более крупный аккумулятор чем микрокоптеры с 5-ти дюймовыми пропеллерами дроны. Такие модели подходят уже для дальних полетов, недостаток данной модели в том что более большие инерции и поэтому они не столь проворны, поэтому для гонок и акробатического стиля они не подходят.



Рисунок 6. Дроны с 7-ми дюймовыми пропеллерами

8. Cinelifter – это октокоптеры в конфигурации X8 (квадрокоптер с двумя моторами на каждом луче). На данную серию дронов устанавливают 6-8 дюймов пропеллеры и оснащают камерами премиального уровня для профессиональной киносъемки.

9. Дроны экстра-класса (X-class) и «монстры» являются самыми крупными и мощными беспилотниками среди дронов. Данные серии дронов имеют высокую стоимость и дорогие в обслуживании. Дроны экстра-класса имеют раму размером от 800-1200 мм и оснащаются пропеллерами от 9 до 13 дюймов. На дроны «монстры» используют раму менее 800 мм. Представленные серии дронов имеют достаточно большую дальность полета, большую грузоподъемность и хорошую маневренность, главное преимущество их в высокой точности полета, что актуально для гонок.

Рассмотренные классификации дронов показывают, что в зависимости от винтовой группы, на FPV-дроне имеются свои конструктивные особенности. Это связано с тем, в каких условиях эксплуатируется летательный аппарат и для каких целей. Когда БЛА совершает полет, на корпус действуют силы сопротивления воздуха и в связи с этим из обзора конструкций FPV-дронов, приведенного в статье ранее, можно увидеть, что одни БЛА более мобильные и маневренные, а другие могут лететь с небольшой скоростью. Это связано с конструктивными особенностями БЛА, расположением и количеством двигателей на корпусе. Поэтому, актуальной задачей будет рассмотреть, как влияют силы деформации на корпус БЛА.

Основная часть

Целью данной статьи является проведение моделирования упруго-деформационных свойств различных конструкций с различным количеством и расположением электродвигателей.

Рассмотрим модели квадрокоптеров, в которых традиционно используются 4 бес-

коллекторных электродвигателя (БДПТ). На рис. 8, а показано расположение БДПТ сверху корпуса квадрокоптера, на рис. 8, б, двигатели расположены снизу корпуса квадрокоптера, на рис. 8, в, 2 передних двигателя расположены вниз и 2 в верх над корпусом квадрокоптера. Также в статье рассмотрим традиционную модель квадрокоптера с 4-мя двигателями, расположенными вверх (рис. 8, г) и модель с 8-мью электродвигателями 4 двигателя вверх и 4 двигателя вниз (рис. 8, д), где для этих двух моделей установлен усиленный корпус в виде двух пе-рекладин с правой и с левой стороны квадрокоптера.

С целью экспериментального определения оптимальной конструкции квадрокоптера было проведено конечно-элементное моделирование конструкции для 5 вариантов БЛА с различным расположением двигателей, из которых 2 варианта БЛА были промоделированы с дополнительными по бокам планками для усиления корпуса. Моделирование, проведенное в САПР SolidWorks, включало исследование напряжённно-деформируемого и термического поведения конструкций дрона при помощи инструментов «Частотный анализ» и «Термический анализ» в SolidWorks Simulation.

Для проведения анализов были определены материалы элементов конструкций. Примем, что крестовина рамы изготовлена из легированной стали, пластины центра рамы выполнены из холоднодеформируемой стали AISI 1045, крепежные соединения – из литой нержавеющей стали, корпуса электродвигателей – из нержавеющей суперсплава A286 на основе стали, корпус видеокamеры – из АБС-пластика.

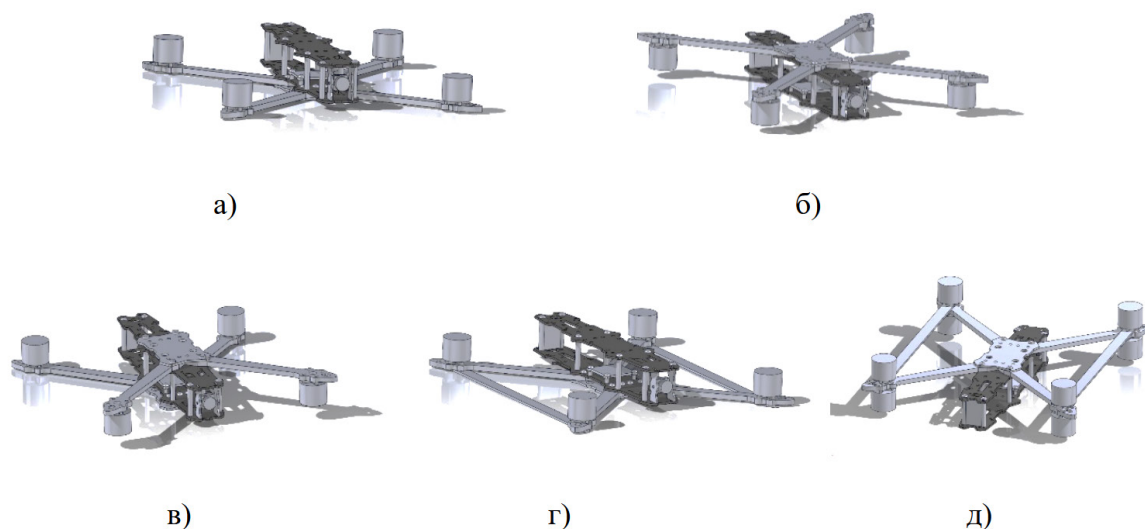


Рисунок 8. Модели летательных мобильных роботов: а) 4 двигателя над корпусом; б) 4 двигателя под корпусом; в) 2 двигателя впереди над корпусом и 2 сзади двигателя под корпусом; г) 4 двигателя над корпусом с усиленным корпусом; д) 8 двигателей – 4 над корпусом и 4 под корпусом с усиленным корпусом

Для каждой конструкции были зафиксированы три измерения резонансных частот, определённые программой автоматически (наименьшая резонансная частота, при которой происходит деформация, наибольшая резонансная частота и средняя резонансная частота). Также были получены результаты нагрева конструкций дрона при трёх значениях температуры окружающей среды: при 40 °C, при 70 °C и при 110 °C,

все в течение 10 с. Распространение резонансных частот характеризуется цветовой шкалой Ampres, которая является относительной величиной результирующей относительной амплитуды колебаний. Частотный анализ конструкции дрона с 4 двигателями сверху рамы показан на рис. 9.

Термический анализ конструкции дрона с 4 двигателями сверху рамы показан на рисунке 10.

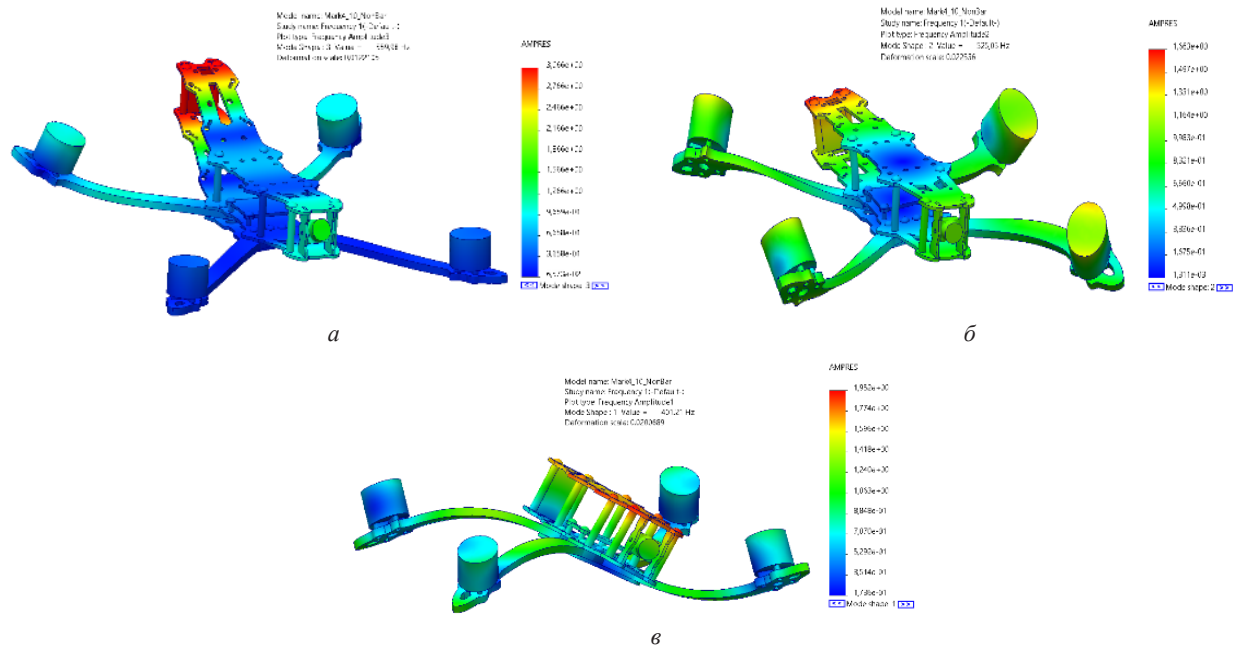


Рисунок 9. Частотный анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху рамы при резонансных частотах колебаний: а) 401,2 Гц, б) 525,05 Гц, в) 559,98 Гц

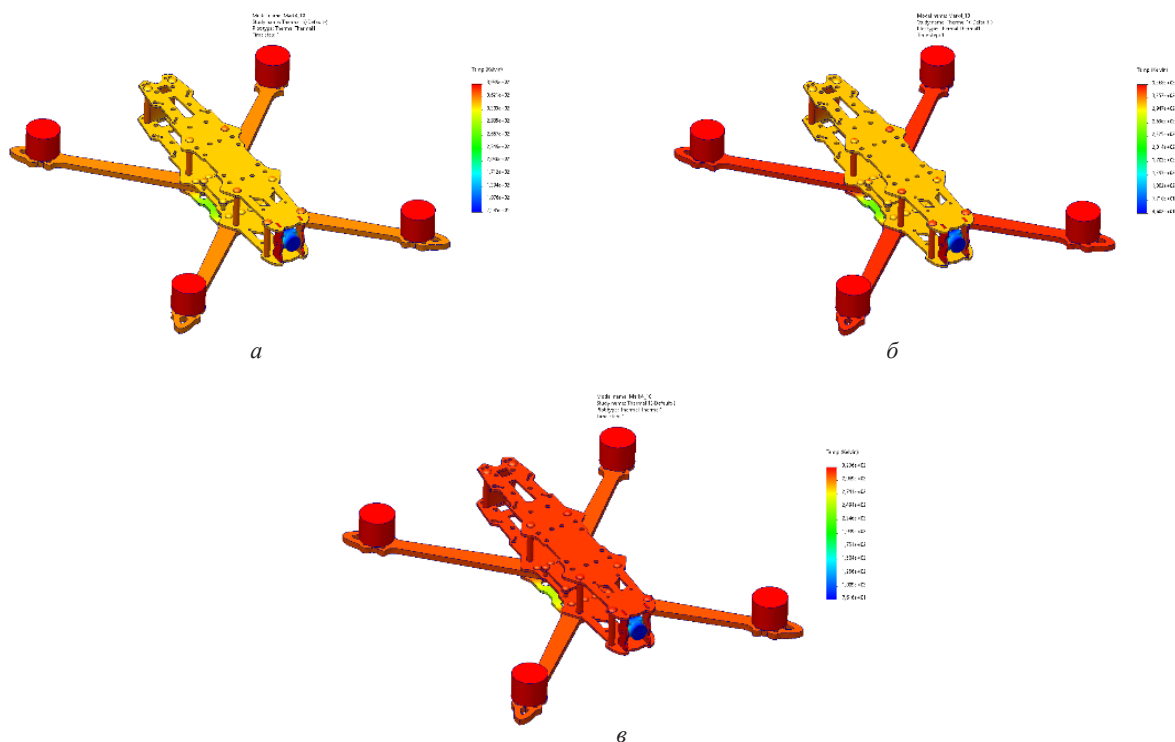


Рисунок 10. Термический анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °C, б) 70 °C, в) 110 °C.

Анализ рис. 9 показывает, что с ростом частоты (от минимального значения 401,2 Гц до максимального 508,05 Гц) резонансные колебания наиболее негативное влияние оказывают на крестовину корпуса, на которой смонтированы двигатели. Наблюдаются изгибы и искривления крестовины во всех направлениях. Коэффициент деформации составляет 0,022. Также отмечается изгиб незакреплённой к крестовине центральной части рамы в вертикальной плоскости на угол около 30°. Максимальные вибрации конструкции дрона зафиксированы именно в этой области.

Результаты термического анализа (рис. 10) показали, что с течением времени происходит нагрев сначала электродвигателей, затем крестовины рамы, затем центрального крепления рамы. На рис. 10 распространение температуры показано цветом: от минимальной – синей (40 °С) до максимальной – красной (117 °С). Наименьший нагрев испытывает видеочасть и нижняя грань перекрестья рамы,

наибольший – электродвигатели и стальная крестовина.

Следующей исследуем конструкцию квадрокоптера с нижним расположением четырёх электроприводов (рис. 8, б). Результаты частотно-резонансного анализа этой конструкции представлены на рис. 11.

При нижнем расположении БДПТ по-прежнему заметно значительное влияние резонансных частот на собственную частоту колебаний конструкции. Изгибы и повороты элементов квадрокоптера отмечены начиная с резонансной частоты, равной 359,49 Гц. При этом характер распространения вибраций конструкции сместился от верхней пластины центра рамы к нижней пластине, куда сместился центр масс дрона. При измерении резонанса на отметке 521,25 Гц конструкция квадрокоптера с нижним расположением электродвигателей искривлена во всех плоскостях. Коэффициент деформации составил 0,027.

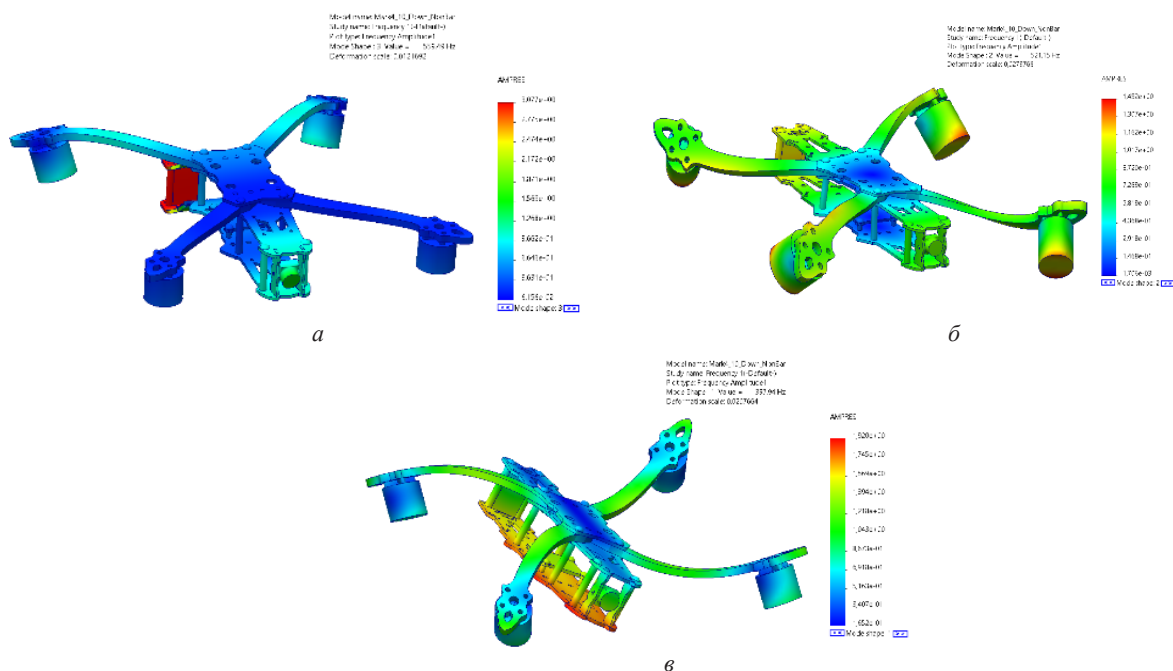


Рисунок 11. Частотный анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху рамы при резонансных частотах колебаний: а) 359,5 Гц, б) 397,94 Гц, в) 521,25 Гц

Результаты термического анализа конструкции квадрокоптера с нижним расположением электроприводов изображены на рис. 12.

Распространение температуры при конструкции дрона с нижним расположением электродвигателей показало лучшие характеристики по сравнению с предыдущим вариантом. Первичному нагреву также подвержены электродвигатели, а затем и рама (до 108 °С в течение 10 с). При этом центр перекрестья рамы нагревается

до отметки 92 °С, что меньше, чем при верхнем расположении двигателей.

Очевидно, что рассмотренные две конструкции являются механически и температурно неустойчивыми. Поэтому, проанализируем конструкцию квадрокоптера с верхним расположением задних двигателей и нижним расположением передних электродвигателей. Результаты частотно-анализа этой конструкции показаны на рис. 13.

Результаты термического анализа данной конструкции изображены на рис. 14.

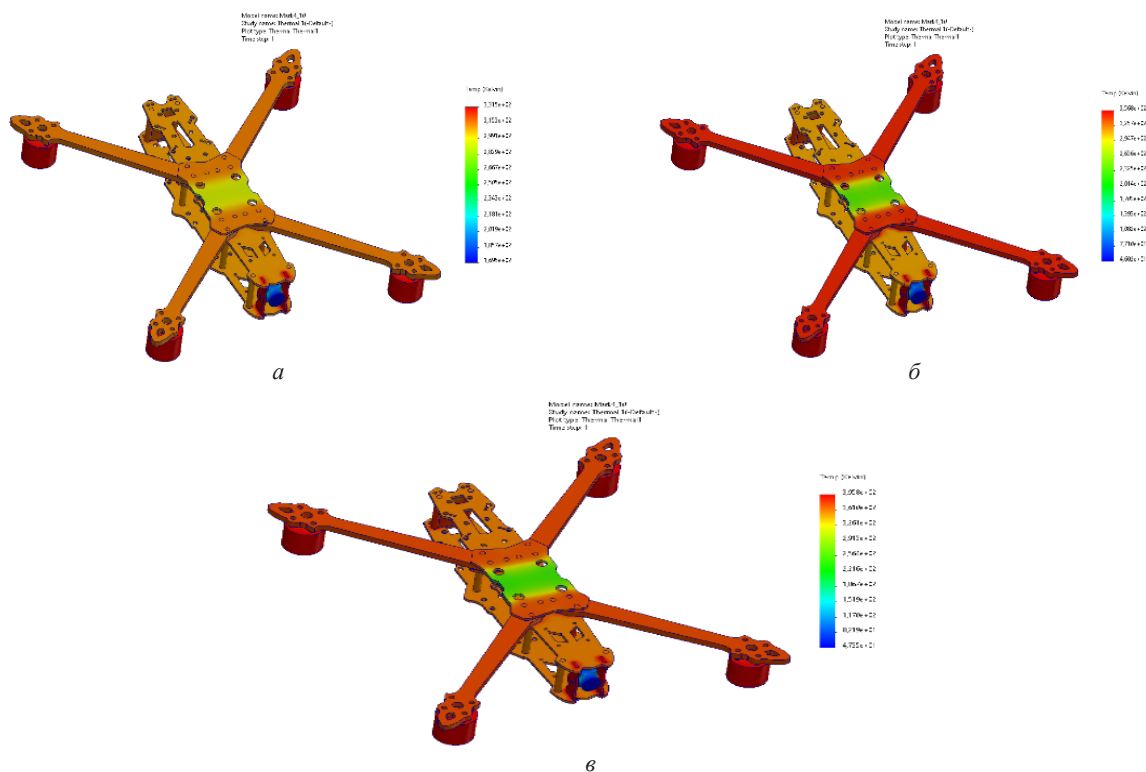


Рисунок 12. Термический анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей снизу рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °С, б) 70 °С, в) 110 °С

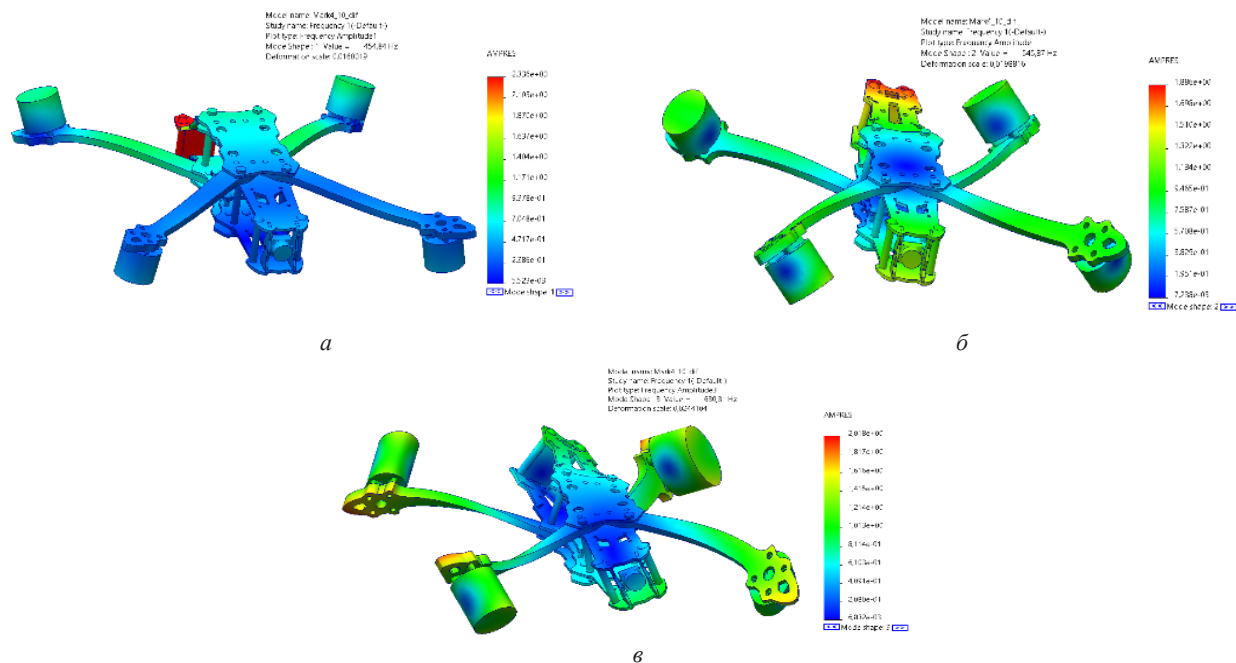


Рисунок 13. Частотный анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху и снизу рамы при резонансных частотах колебаний: а) 454,9 Гц, б) 545,9 Гц, в) 630,31 Гц

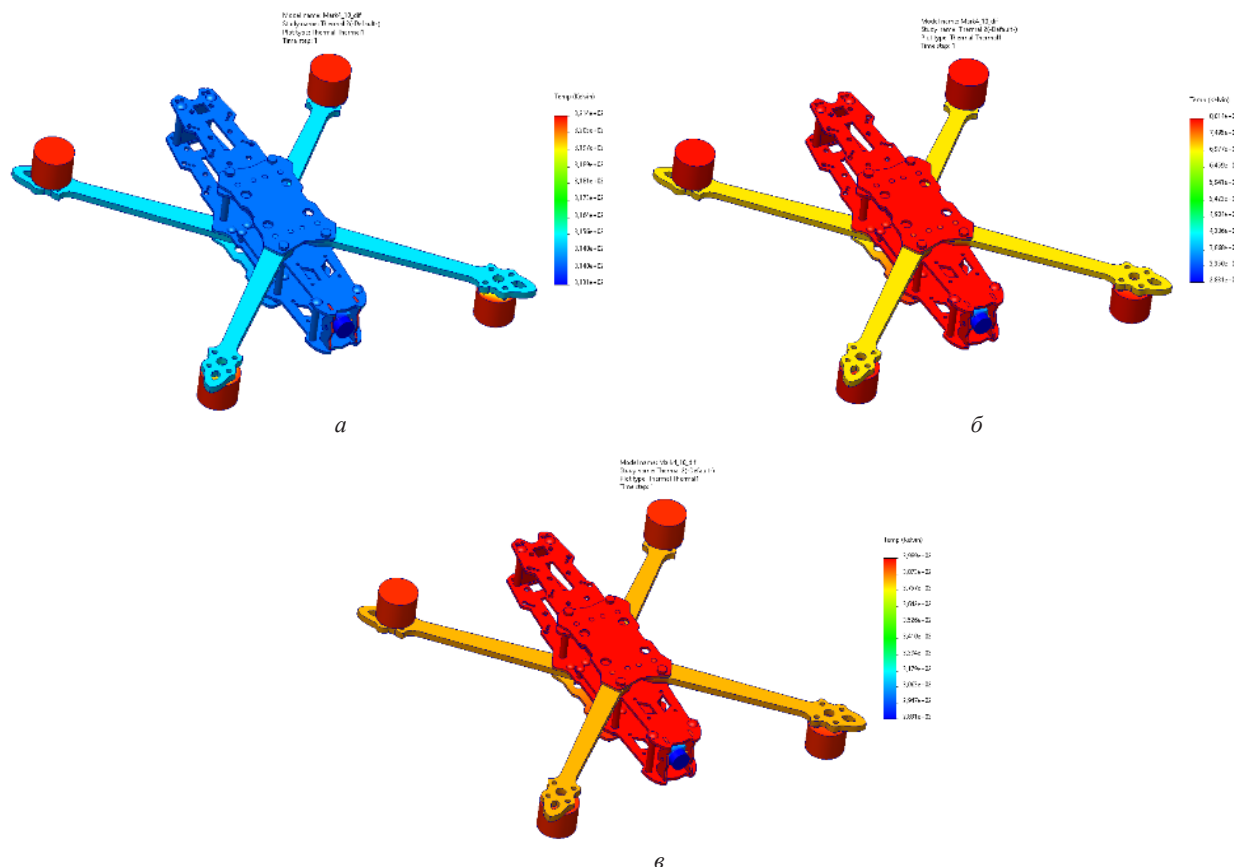


Рисунок 14. Термический анализ конструкции дрона с расположением электродвигателей сверху и снизу рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °C, б) 70 °C, в) 110 °C

Изменение расположения двигателей в конструкции дрона на рис. 14 не привело к уменьшению влияния резонансных частот на элементы квадрокоптера. При частотах, начиная с 454,84 Гц наблюдается деформирование рамы, характеризующееся закручиванием и изгибанием крестовины и перекрестья рамы. При частоте колебаний, достигающей 630,31 Гц, конструкция рамы дрона деформирована во всех плоскостях. Наибольшая амплитуда колебаний фиксируется в хвостовой части рамы. Коэффициент деформации составил 0,024.

Проведенный термический анализ конструкции (рис. 14) выявил меньший по сравнению с односторонним размещением двигателей нагрев крестовины, что в целом отразилось на уменьшении общего нагрева элементов. За 10 с электродвигатели нагрелись до 115 °C, центральная часть – до 80,7 °C, крестовина – до 69,7 °C.

Далее, рассмотрим усиленные варианты конструкций дрона. Проанализируем усиленную конструкцию квадрокоптера с верхним расположением четырех электродвигателей (рис. 8, г). Частотно-резонансный анализ данной конструкции показан на рис. 15, а термический анализ показан на рис. 16.

Результаты термического анализа данной конструкции изображены на рис. 16.

По результатам полученных данных частотного анализа (рис. 15), можно сделать вывод о значительно возросшей устойчивости конструкции рамы и уменьшении деформаций. При резонансных частотах, равных 463,1 Гц и 488,6 Гц наблюдается вертикальный изгиб усиливающих металлических профилей, при этом крестовина не деформируется. Лишь при частоте резонанса, равной 500,04 Гц происходит изгиб крестовины и поворот электродвигателей. Коэффициент деформации в данном случае составил 0,012. Однако, усиленная конструкция обладает более высокой устойчивостью по сравнению с ранее рассмотренными.

В соответствии с данными термического анализа (рис. 16), усиление рамы также повлияло на распространение нагрева конструкции. По-прежнему наиболее подверженной температуре частью дрона являются электродвигатели, максимальная температура которых равняется 79,8 °C при 3 мин работы. За этот же промежуток времени рама с крестовиной нагрелась до 56,4 °C, что меньше, чем в случаях без усиления рамы.

Последним этапом рассмотрим вариант усиленной конструкции дрона с 8 электродвигателями, которые расположены по обе стороны рамы. Частотно-резонансный

анализ данного варианта конструкции изображён на рис. 17.

Результаты термического анализа данного типа конструкции изображены на рис. 18.

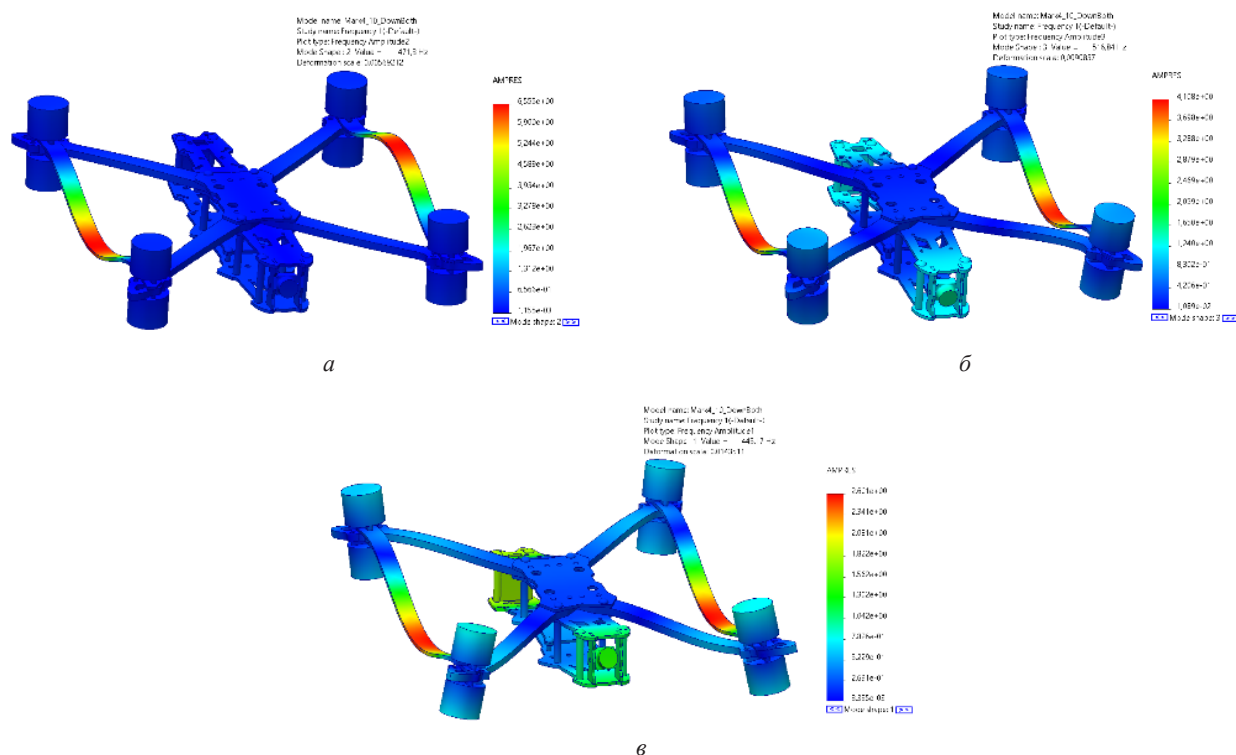


Рисунок 17. Частотный анализ усиленной конструкции дрона с расположением двигателей по обе стороны рамы при резонансных частотах: а) 445,17 Гц, б) 471,3 Гц, в) 516,84 Гц

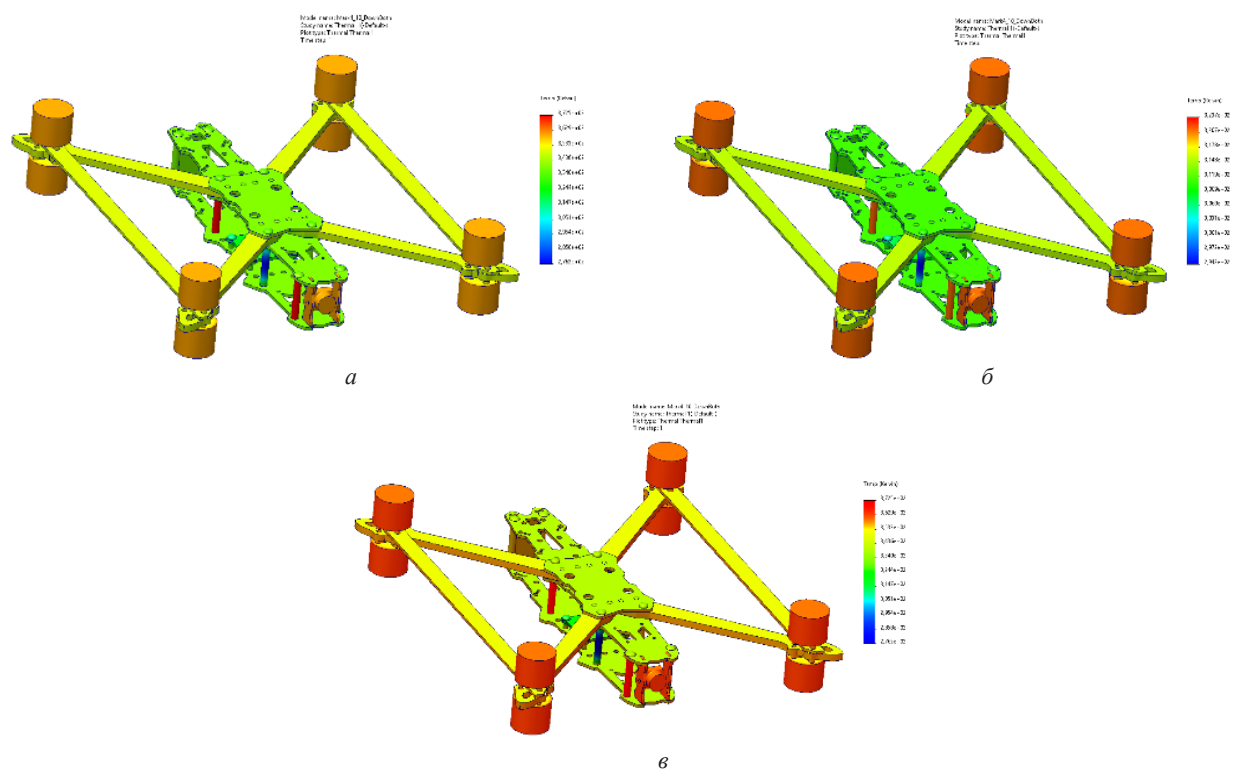


Рисунок 18. Термический анализ усиленной конструкции дрона с расположением двигателей сверху рамы при температурах окружающей среды: а) 40 °C, б) 70 °C, в) 110 °C

В случае усиленной конструкции квадрокоптера с 8 электродвигателями, расположенными по обе стороны рамы, частотно-резонансный анализ показал наличие деформаций усиливающих элементов на частоте резонанса 516,84 Гц. Вследствие этого происходит отклонение электродвигателей от горизонтального положения и изгиб концов крестовины. Коэффициент деформации на частоте 516,84 Гц составил 0,014.

Исходя из результатов термического анализа (рис. 18), данная конструкция дрона отличается минимальным среди всех вариантов нагревом элементов. В течение 10 с наибольшему нагреву подверглись электродвигатели (до 73 °C), а температура рамы осталась в пределах температуры окружающей среды (около 40 °C).

Заключение

В статье были рассмотрены конструктивные особенности БЛА на примере FPV-дрона. Проведено имитационное моделирование для 5 вариантов БЛА с различным расположением двигателей (4 двигателя над корпусом, 4 двигателя под корпусом, 2 двигателя впереди над корпусом и два сзади двигателя под корпусом) и с усилением корпуса (4 двигателя над корпусом, 8 двигателей – 4 над корпусом и 4 под корпусом) для напряженно-деформационного состояния БЛА. В ходе имитационного исследования было проведено частотно-резонансный анализ и термический анализ, который позволил дать рекомендации:

1. Конструкция квадрокоптера с 4-мя двигателями, расположенными сверху рамы обладает низкой механической прочностью и высоким тепловым

нагревом. Коэффициент деформации при высоких резонансных частотах составил 0,022.

2. Конструкция квадрокоптера с 4-мя двигателями, расположенными снизу рамы также обладает невысокой механической прочностью и высоким тепловым нагревом. Коэффициент деформации при высоких резонансных частотах данной конструкции равен 0,027.

3. Конструкция дрона с 4-мя двигателями, расположенными по обе стороны рамы, также отличается низкой устойчивостью к резонансным колебаниям и подверженностью к перегреву. Коэффициент деформации в данном случае составил 0,024.

4. Усиленная конструкция дрона с 4-мя двигателями, размещенными сверху рамы, обладает повышенной устойчивостью к резонансным частотам, также отличается уменьшенным тепловым нагревом при высоких температурах. Коэффициент деформации равняется 0,012.

5. Наиболее удачная с точки зрения механической прочности и теплового нагрева конструкция дрона – с усиленной рамой и размещением 8 электродвигателей по обе стороны корпуса. Коэффициент её деформации равен 0,014, а по условиям теплового нагрева были достигнуты наименьшие результаты среди рассмотренных вариантов. Это связывается с тем, что центр масс БЛА в данной конструкции находится ближе к геометрическому центру дрона, чем в остальных вариантах.

Полученные рекомендации для рассмотренных в статье моделей позволяют при дальнейшем конструировании получать летательные мобильные роботы с более улучшенными прочностными характеристиками.

REFERENCES

1. Dronnews, FPV drones: definition, types, kits and self-assembly/ [Electronic resource] URL: https://dronnews.ru/fpv/kak-nauchitsya-letat-na-fpv-drone-poshagovoe-rukovodstvo-dlya-nachinayuschih.html?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.bing.com%2F (access date: 08/29/2024).
2. **M. Dhaybi, N. Daher**, Accurate Real-time Estimation of the Inertia Tensor of Package Delivery Quadrotors, in Proceedings of the American Control Conference, AACC, 1-3 July 2020, Denver, CO, USA (2020)
3. **M. Dharmadhikari, H. Nguyen, F. Mascarih, N. Khedekar, K. Alexis**, Autonomous cave exploration using aerial robots, in Proceedings of International conference on unmanned aircraft systems, ICUAS, 15-18 June 2021, Athens, Greece.
4. **R. Leishman, J. Macdonald, T. McLain, R. Beard**, Relative navigation and control of a hexacopter, in Robotics and Automation (ICRA), 2012 IEEE International Conference, pp. 4937–4942.
5. **Gabriel M. Hoffmann, Haomiao Huang, Steven L. Waslander, C. J. Tomlin**, Quadrotor helicopter flight dynamics and control: Theory and experiment, Proc. of the AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference, Vol. 2, p. 7, 2007.
6. **Fogelberg J.** Navigation and Autonomous Control of a Hexacopter in Indoor Environments. // MSc Thesis, Department of Automatic Control, Lund University, 2013. – ISSN 0280-5316.
7. **Moussid M., Sayouti A., Medromi H.** Dynamic Modeling and Control of a HexaRotor using Linear and Nonlinear Methods // International Journal of Applied Information Systems. 2015 Aug, 9-5.
8. **T. Wang, R. Qin, Y. Chen, H. Snoussi** "A reinforcement learning approach for UAV target searching and tracking," Multimedia Tools and Applications, v. 78, n. 4, p. 4347–4364, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-5739-5>.
9. **J. Songming, G. Haiyue, Z. Xiaokun, L. Dengpan** "Fault Tolerant Control Algorithm of Hexarotor UAV " Journal of Robotics ,v.20, Hindawi, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8829329>
10. **S. Chaoran, S.A. Agha, M. Zaharuddin, M.H. Shaheed** "Optimised Sliding Mode Control of a Hexacopter: Simulation and Experiments" Electronics ,v.11, n.16, p. 2519, 2022. <https://doi.org/10.3390/electronics11162519>

PAULIUKAVETS S.A., VELCHENKO A.A., LOBATY A.A., RADKEVICH A.A., KHOLOD P.V., BUIVID A.P.

INFLUENCE OF DESIGN FEATURES ON THE EFFICIENCY OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

The paper provides an overview of various designs of unmanned aerial vehicles of the FPV drone series. Simulation modeling of the design of unmanned aerial vehicles was carried out on the elastic-deformation properties of the body. Frequency resonance analysis and thermal analysis of the design of the flying mobile robot were carried out, which made it possible to analyze the design features of the structure of the flying mobile robot and give recommendations on the selection of materials and elements to ensure the most strength characteristics.

Keywords: unmanned aerial vehicle, simulation model, FPV drone, multicopter, minicopter, microcopter, resonance frequency analysis, thermal analysis



Павлюковец Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с разработкой методов и алгоритмов управления мобильными роботами.

Siarhei A. Pauliukavets, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations and Technological Complexes of the Belarusian National Technical University. The area of scientific interests is related to the development of methods and algorithms for controlling mobile robots.

E-mail: sap@bntu.by



Вельченко Анна Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с разработкой и исследованием нейросетевых регуляторов для электропривода в мобильной робототехнике и солнечной энергетике.

Anna A. Velchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Drive and Automation of Industrial Installations and Technological Complexes of the Belarusian National Technical University. His area of scientific interests is related to the development and research of neural network controllers for electric drives in mobile robotics and solar energy.

E-mail: eapu@bntu.by



Лобатый Александр Александрович, доктор технических наук, профессор. Проводит исследования в области анализа и синтеза систем управления, в том числе - беспилотными летательными аппаратами. Автор и соавтор множества статей в научных журналах и конференциях, автор ряда книг и учебных пособий.

Lobaty A.A., Doctor of Science, Professor. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of control systems including unmanned aerial vehicles. He is the author and co-author of many articles in scientific journals, conferences and books.

E-mail: lobaty@bntu.by



Радкевич Артём Андреевич – магистрант кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с применением нейросетевых технологий управления электроприводами в мобильной робототехнике.

Artsiom A. Radkevich is a master student of the Electric drive and automation of industrial installations and technological complexes department of the Belarusian National Technical University. The area of scientific interests is related to neural network control of electric drives in wheeled mobile robotics

E-mail: radkevichaa@bntu.by



Холод Павел Викторович – ассистент кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с исследованием законов управления беспилотными летательными аппаратами.

Pavel V. Kholod assistant at the Department of Robotic Systems of the Belarusian National Technical University. The area of scientific interests is related to the study of the laws of control of unmanned aerial vehicles.

E-mail: rts@bntu.by



Буйвид Антон Петрович – студент кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов» Белорусского национального технического университета. Область научных интересов связана с твердотельным параметрическим моделированием.

Anton P. Buivid is a student of the Electric drive and automation of industrial installations and technological complexes department of the Belarusian National Technical University. The area of scientific interests is related to 3D modelling.

E-mail: eapu@bntu.by

ALBAGOUSH A.A.¹, ABUAUBA A.B.², KUPRIYANOV A.B.¹

THE INFLUENCE OF DUST ON THE IMAGE OF SOLAR PANEL AND ITS OPERATION IN LIBYA

¹Belarusian National Technical University²Karabuk University, Turkey

The Libyan state, which created the strategic plan for renewable energy 2013–2030, which strives to encourage initiatives aimed at achieving sustainability, is one of the developing nations vying to gain from solar energy in the sector of electrical energy. The agreement to build a 500-MW solar power project made this plan quite evident. The primary barrier to the best possible use of solar energy is pollution, specifically the buildup of dust and bird droppings on solar panels. The efficiency of power generation from solar panels is significantly affected by dust accumulated on them. As a result of the research, quantitative indicators of the impact of dust on photovoltaic systems in Libya were determined and images of the solar panel were obtained with different densities of dust on its surface. The field experiments show that with the increase in dust density, the short-circuit current, open-circuit voltage, and output power of the PV both decrease. The dust with a density of 40 g/m² can reduce the maximum power of the PV more than on 20 %. The resulting images of the solar panel can be used to assess the degree of dust in automated systems for solar panels cleaning.

Ключевые слова: PV solar panel, Solar panel image, Automated system for solar panels cleaning, Dust deposition, solar radiation, artificial intelligence, Hot spots, PV surface temperature

Введение

Fossil fuels account for 80 % of all energy in the globe, which eventually leads to the depletion of natural resources and an energy crisis [1]. Renewable energy sources like photovoltaic (PV) systems are becoming more important in the production of electricity, with the global cumulative solar PV capacity expected to reach 773.2 GW in 2020 [2]. Fault detection is essential for PV systems to improve dependability, economy, and safety. Solar PV systems have unpredictable characteristics, so it's crucial to assess their economic viability [3]. The efficiency of the energy conversion process is directly related to various factors such as the type of PV cell, orientation and inclination angle of PV module, installation type, location, cell temperature, shading, deposition of dust and pollution on module surface [4]. According to study, desert regions where there is a lot of dust and little rain could lose power up to 80 % due to dust deposition [1]. On the other hand, research also confirmed that a single dust storm could reduce PV module output by about 20 % [5].

A number of cleaning techniques for solar panels have been tried by several researchers and studies, and they have a beneficial impact. These automatic self-cleaning techniques can be divided into two primary groups called active and passive techniques. For self-cleaning techniques, active techniques are those that need power, such as electrostatic and mechanical techniques. In contrast, passive techniques, like coating approaches, don't use any electricity to do self-cleaning [6].

Dust amounts and solar radiation rates in Libya

Depending on the geographic region, different natural elements have different effects on the effectiveness of solar panels. For instance, Libya has a high rate of solar radiation throughout the year, with an average of 3500 hours of sunlight per year and an intensity of 7.1 kW/m² per day in the north and roughly 8.1 kW/m² per day in the south [7,8].

The type, size, and density of deposited dust and dirt have a considerable impact on the efficiency of solar panels due to their contribution to blocking solar radiation.

Table 1 displays reported rates of dust deposition in several Libyan locations. These rates range from 311.05 g/m² annually in coastal metropolitan region (Tripoli) with relatively high humidity to 82 g/m² annually in southern areas with a dry desert nature and are thought to represent a significant barrier to solar energy projects [9].

Table 1. Rates of dust deposition in several locations in Libya [9]

Area	Deposition rate (g/ m ²)
Tripoli	297.89
Gefara Plains	215
Gulf of Sirt	105
Central zone	276
Southern zone	82

The wind that causes sandstorms contributes to transporting huge amounts of dust. Figure 1 shows solar panels before and after sandstorm accumulation, the

characteristics of which vary in size and composition from one area to another, which causes confusion in determining a cleaning schedule.



Figure 1. Solar panels before and after sandstorm accumulation

The effect of dust accumulation on solar panels in Tripoli

Tripoli is located on the coast of the Mediterranean Sea and includes approximately one-third of the population of Libya. The population of the city of Tripoli reached 2,220,000 people, and the population of Libya reached 6,903,467 people, which increases the percentage of air pollution with the need to use solar energy as a source of electricity. Table 2 shows the rates of dust deposition in Tripoli.

The wide variation in dust deposition rates makes determining cleaning schedules complicated the second is the temperature effect. The dust on the PV can cause change in the form of heat transfer. The existing heat balance model of the PV modules is established under the condition of dust. However, affected by the dust, the heat balance has changed in the PV panels actually put into use. Because of the presence of dust, some of the cells are blocked and cannot work properly, and then the electric current of the shielding cells is reduced. When the cell operating current is less than the entire PV array operating current, the cell voltage ends in a reverse bias state. Then the cell becomes the load of other photovoltaic cells and consumes the power to convert into heat energy to make the temperature of the PV increase [10]. Usually, the limit of a single PV cell reverse bias is 25 W, if higher than the limit, it will be easy to form hot spots.

Hot spots will not only affect the power generation efficiency of PV but also damage the whole PV system and cause irreparable damage [11]. Hence, it was necessary to study the impact of dust in Libya to choose the appropriate methods for cleaning and the timing for conducting.

To study the effect of PV surface contamination on its efficiency, we studied its efficiency by taking into account the effect of temperature. Two solar panels with the characteristics shown in Table 3, Figure 2 were used.

Table 2. Total and monthly deposition rate of dust (g/m²)

Month	Dust g/m ²
January	10.55
February	14.22
March	22.79
April	11.34
May	3.38
June	35.27
July	27.53
August	47.53
September	12.67
October	8.01
November	70.92
December	33.64
Year	297.85

Table 3. The characteristics of solar panel

PV Module Characteristics	Description
Module	Shell SQ85-P
Maximum Power (P-max)	85 W
Rated Current	4.95A
Rated Voltage	17.2V
Open Circuit Voltage (Voc)	22.2V
Short Circuit Current (Isc)	5.45 A
Size	1.20*0.527 m
STC	1000 W/m ² . 25C.AM 1.5

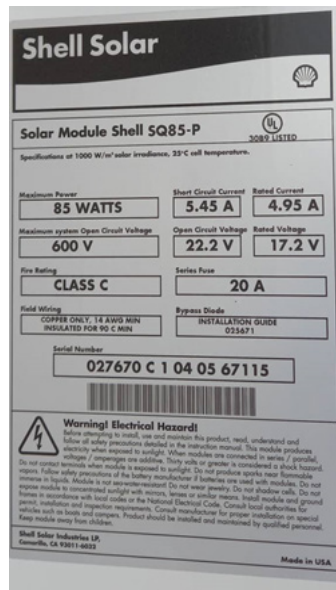


Figure 2. The characteristics of solar panel

The aim of the preparation was to describe the effect on the PV's performance depending on its contamination, as well as to clarify the effect of temperature.



Figure 3. Installing the solar panels

The solar panels were installed as shown on the Figure 3 to make it easy to add amounts of sand in the mid-day.

The solar panels and the reference Cell were connected to the device (PVPM 1000C) and Figure 4,5 show the two devices (PVPM 1000C) and (Reference Cell). The device (PVPM 1000C) contains an internal variable resistor that automatically adjusts to obtain both the Rated voltage and the Rated current and then P max .Figure 6 shows connecting the solar panels to the devices used.

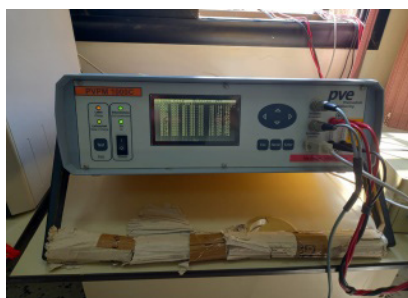


Figure 4. PVPM 1000C

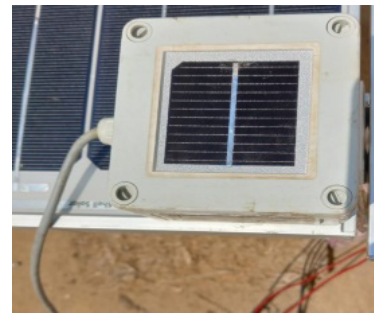


Figure 5. Reference Cell

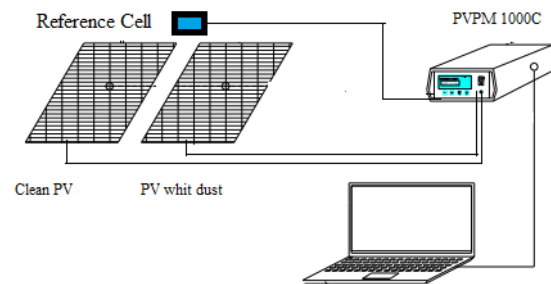


Figure 6. Schematic diagram of test instrument layout

Results and discussion

As shown in Table 4 and Figure 7, the surface temperature at solar radiation (1010,1071) of clean PV and dusty with a difference of 0.5 °C with 5 g/m² of dust, to 1.1 °C with 40g/m² of dust. As the decrease in solar radiation makes the effect of dust greater on the temperature of the solar panel, at a solar radiation value of 371 W/m² and a dust density of 30 g/m², the temperature of the dusted solar panel was 1.2 °C higher than the clean panel. Dust causes the cooling effect of the PV panel to weaken, resulting in the increase of PV surface temperature and the reduction of power generation efficiency.

Table 4. Dusty PV Temperature and Clean PV Temperature

DUST g/m ²	Panel temp °C dusty panel	Panel temp °C clean panel
5	56.8	56.3
20	58.9	58.5
30	59	57.8
40	51.9	50.8

The weather was partly cloudy where solar radiation ranged between (1010,1071) W/m², and the dust with a covering density of 5 g/m², 20 g/m², 30 g/m², and 40 g/m² was set on the PV surface respectively, while the other solar panel was completely clean. By adjusting the resistance automatically by

(PVPM 1000C) the corresponding current under the different partial pressures of PV is obtained. As shown in figure 8 it can be seen that the presence of dust with a density of 40 g/m^2 causes the output performance of the photovoltaic cell, and causes decreases in the short circuit current of the PV 22.12 %. Indicating that dust has a greater influence on the PV short circuit current and a smaller influence on the open circuit voltage.

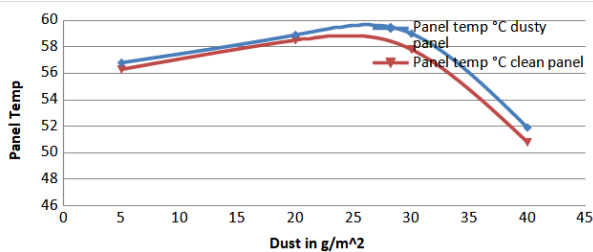
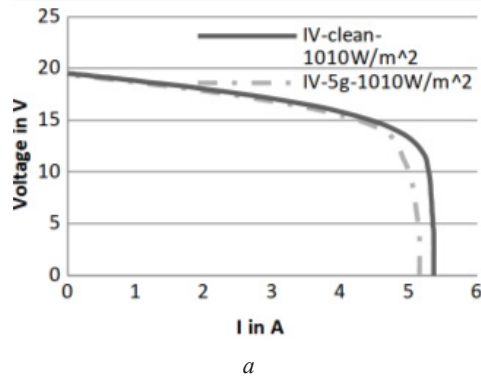
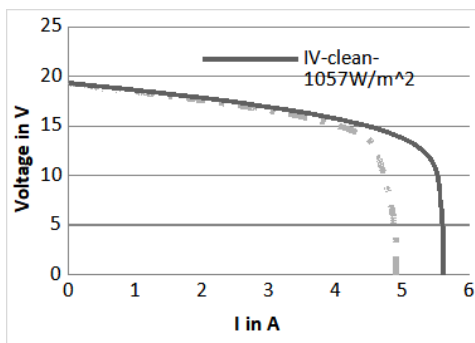


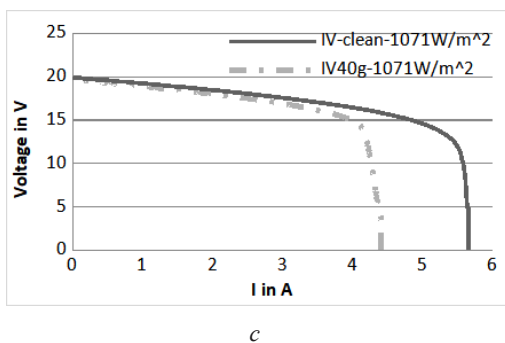
Figure 7. Effect of dust on PV surface temperature



a



b



c

Figure 8. Effect of dust a (5 g , 1010 W/m^2), b (20 g , 1057 W/m^2), c (40 g , 1071 W/m^2)

To find the actual effect of dust, the effect of variation in solar radiation had to be excluded, as solar radiation of 1010 W/m^2 has adopted for all readings. The final ratio of the output power for different amounts of dust is shown in figure 9.

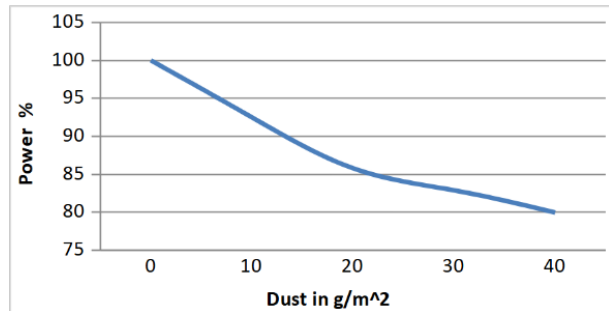


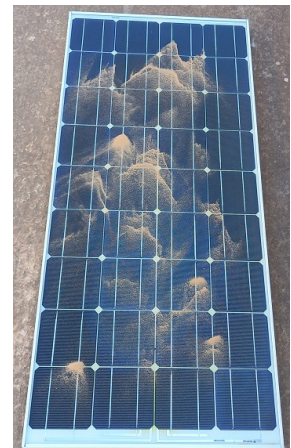
Figure 9. The ratio of the output power for different amounts of dust at 1010 W/m^2

From figure 9 it can be confirmed that at 40 g/m^2 of dust on the solar panel and a solar radiation rate of 1010 W/m^2 , the output power will decrease by about 20 %.

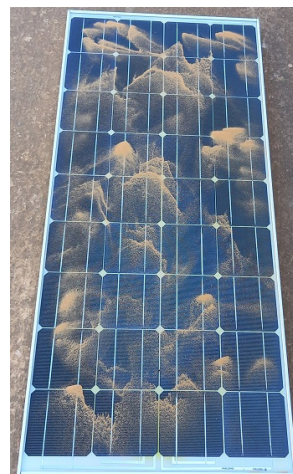
Figure 10 shows images of a solar panel with different densities of dust on its surface.



a



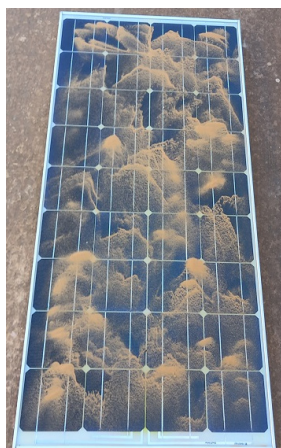
b



c



d



e

Figure 10. Images of the solar panel with different densities of dust on its surfaces: a – 0 g/m²; b – 10 g/m²; c – 20 g/m²; d – 30 g/m²; e – 40 g/m²

From Figure 10 it can be seen that the image of the panel changes significantly when the density of dust on its surface changes. Therefore, from the image of the panel, you can assess the degree of dust on the solar panel, and therefore the level of reduction in the energy it generates, and therefore make a timely decision to clean the panel, which can increase the electricity generation of the panel by at least 10-20 %. We also confirm the following:

- Determining the reason for the reduction in output power is very complex, as all climatic conditions

(temperature, humidity, solar radiation, shading, etc.) affect the percentage of output power.

- Dustiness of the solar panel significantly reduces the output power of the solar panel due to the decrease in solar radiation falling directly on the surface of the panel.

- Determining the reason for the reduction in output power is very complex, as all climatic conditions (temperature, humidity, solar radiation, shading, etc.) affect the percentage of output power.

- Dustiness of the solar panel significantly reduces the output power of the solar panel due to the decrease in solar radiation falling directly on the surface of the panel.

Conclusion

Libya is rich in renewable energy resources, including solar energy. At present, Libya uses fossil fuels to meet energy demand, and the share of renewable energy in consumption is almost negligible. Libya suffers from a high level of pollution and is considered one of the most polluted countries in the world due to its dependence on fossil fuels and climatic conditions. In its current state, Libya's plan to transition to solar energy faces technical and economic challenges. These difficulties may be limited to the climate, most notably the impact of dust and pollution, methods for finding appropriate cleaning methods, and the high cost of cleaning for huge solar energy projects in light of unexpected weather fluctuations. This study represents the real input for the use of artificial intelligence, which in turn determines the type and time of cleaning, taking into account the financial cost and protecting solar panels from damage resulting from unjustified cleaning operations.

REFERENCES

1. A. Hassan, & Syed, Z. Ilyas, A. Jalil, and Z. Ullah, "Monetization of the environmental damage caused by fossil fuels", doi: 10.1007/s11356-020-12205-w/Published.
2. A. A. Al-Katheri, E. A. Al-Ammar, M. A. Alotaibi, W. Ko, S. Park, and H. J. Choi, "Application of Artificial Intelligence in PV Fault Detection," Sustainability (Switzerland), vol. 14, no. 21, Nov. 2022, doi: 10.3390/su142113815
3. J. A. Dhanraj et al., "An effective evaluation on fault detection in solar panels," Energies, vol. 14, no. 22. MDPI, Nov. 01, 2021. doi: 10.3390/en14227770
4. M. Nezamisavojbolaghi, E. Davodian, A. Bouich, M. Tlemçani, O. Mesbahi, and F. M. Janeiro, "The Impact of Dust Deposition on PV Panels' Efficiency and Mitigation Solutions: Review Article," Energies, vol. 16, no. 24. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), Dec. 01, 2023. doi: 10.3390/en16248022
5. Y. N. Chanchangi, A. Ghosh, S. Sundaram, and T. K. Mallick, "Dust and PV Performance in Nigeria: A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 121. Elsevier Ltd, Apr. 01, 2020. doi: 10.1016/j.rser.2020.109704
6. J. Farrokhi Derakhshandeh et al., "A comprehensive review of automatic cleaning systems of solar panels," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 47, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101518
7. H. Moria and M. Elmnifi, "Feasibility Study into Possibility Potentials and Challenges of Renewable Energy in Libya Non-destructive tests View project Development of Low cost and Multi-Material Sensing Approach for MQ135 Sensor View project Feasibility Study into Possibility Potentials and Challenges of Renewable Energy in Libya," Article in International Journal of Advanced Science and Technology, vol. 29, no. 03, pp. 12546–12560, 2020, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/343678963>
8. A. O. M. Maka, S. Salem, and M. Mehmood, "Solar photovoltaic (PV) applications in Libya: Challenges, potential, opportunities and future perspectives," Clean Eng Technol, vol. 5, p. 100267, 2021, doi: 10.1016/j.clet.2021.100267.
9. S. L. O'Hara, M. L. Clarke, and M. S. Elatrash, "Field measurements of desert dust deposition in Libya," Atmos Environ, vol. 40, no. 21, pp. 3881–3897, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.02.020

10. IEEE Electron Devices Society. and Institute of Electrical and Electronics Engineers., Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2012 38th IEEE : date, 3-8 June 2012.

11. Y. Chen et al., "Experimental study on the effect of dust deposition on photovoltaic panels," in Energy Procedia, Elsevier Ltd, 2019, pp. 483–489. doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.139

АЛБАГОУШ АЛААЕДДИ АЛИ, АБУАУБА А.Б., КУПРИЯНОВ А.Б.

ВЛИЯНИЕ ПЫЛИ НА РАБОТУ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ЛИВИИ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь
Университет Карабюк, Турция

Ливийское государство, разработавшее стратегический план развития возобновляемой энергетики на 2013–2030 годы, направленный на поощрение инициатив, направленных на достижение устойчивости, является одной из развивающихся стран, соперничающих за получение выгоды от солнечной энергии в секторе электроэнергетики. Соглашение о строительстве солнечной электростанции мощностью 500 МВт сделало этот план вполне очевидным. Основным препятствием на пути наилучшего использования солнечной энергии является загрязнение окружающей среды, в частности накопление пыли и птичьего помета на солнечных панелях. На эффективность выработки электроэнергии солнечными панелями существенно влияет скопившаяся на них пыль. В результате исследований были определены количественные показатели воздействия пыли на фотоэлектрические системы в Ливии и получены изображения солнечной панели при различной плотности пыли на ее поверхности. Натурные эксперименты показывают, что с увеличением плотности пыли ток короткого замыкания, напряжение холостого хода и выходная мощность фотоэлектрической батареи уменьшаются. Пыль плотностью 40 г/м² может снизить максимальную мощность фотоэлектрических панелей более чем на 20 %. Полученные результаты могут быть использованы в автоматизированных системах очистки солнечных батарей.



Albagoush Alaaeddin Ali is pursuing his PhD in Computer Engineering in Belarusian National Technical University. He is currently working as head of the communications department at the General Electricity Company of Libya. He received Master's Degree in Electrical and Electronics Engineering from Turkish Aeronautical Association University in the year 2017. He received training on programming and maintaining RTUs in France in 2019. Interested in solar energy projects in Libya and studying ways to increase the efficiency of solar energy.



Abuauba A.B. is pursuing a Doctorate in Energy System Engineering at Karabuk University, Turkey. At the moment, he is employed at General Electricity Company of Libya as a supervisor in electrical project management. In 2019, saw him graduate from Turkish Aeronautical Association University with a master's degree in electrical and electronics. Interested in solar energy projects in Libya and researching how to improve solar energy's efficiency in the country's desert climate.



Kupriyanov Andrey Borisovich, PhD, Associate professor at the Software Department of the Belarusian National Technical University. His research interests include methods and algorithms of artificial intelligence and images processing

ПЭНХАО ГУ, ЛОБАТЫЙ А.А.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ В АВТОПИЛОТЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

Статья посвящена исследованию особенностей применения регуляторов, построенных на использовании теоретических положений нечеткой логики, при создании автопилотов беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Проводится обоснование принципов и методик синтеза математической модели автопилота применительно к БЛА мультироторного типа, особенностей применения различных математических моделей регуляторов, их достоинств и недостатков. Сделан обоснованный вывод о том, что применение традиционных подходов, основанных на использовании линейных математических моделей объекта управления, не обеспечивает необходимое качество управления в широком диапазоне условий применения БЛА при наличии ограничений и внешних воздействий на процесс управления. Предложено при построении математической модели автопилота БЛА использовать принципы и методы нечеткой математики, которые лежат в основе получающих все большее распространение регуляторов на основе нечеткой логики (НЛ-регуляторов). Рассматривается построение канала управления БЛА на основе применения регулятора нечеткой логики, приведено описание структуры регулятора, реализованного в компьютерной среде SiminTech. Путём математического моделирования проведено сравнение работоспособности и переходных характеристик НЛ-регулятора с ПИД-регулятором и П-регулятором применительно к системе управления одного из каналов БЛА – канала управления креном. Установлено, что применяемые в качестве элементов автопилота БЛА регуляторы нечеткой логики по сравнению с другими регуляторами обеспечивают необходимое качество переходных процессов в системе управления БЛА при устойчивости к нежелательным внешним воздействиям, что делает эти регуляторы перспективными для применения в нелинейных нестационарных системах управления подвижными объектами, к которым относятся БЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, математическая модель, нечеткий регулятор, переходная характеристика

Введение

Успешное применение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в различных областях человеческой деятельности обусловлено многими факторами в том числе тем, что современные малогабаритные системы управления, размещенные на борту БЛА, позволяют решать дистанционно автономное применение БЛА для решения различных задач. В частности, применяемые в сельском хозяйстве БЛА (агродроны) способны не только проводить видеомониторинг полей, садов и других сельскохозяйственных культур, но и применяться для посева и обработки растений различными веществами (удобрениями, гербицидами и прочими веществами) [1, 2].

Одной из задач, стоящих перед разработчиками систем управления БЛА является создание автопилотов – электронной системы, размещенной на борту БЛА и осуществляющей решение задач управления БЛА на различных этапах его применения (запуск, полет по заданной траектории, приземление в заданном пункте). Эти задачи как правило должны решаться с участием человека-оператора [3] или автономно – без участия человека.

Синтез математической модели автопилота

Синтез автопилота представляет собой отдельную сложную задачу, не имеющую однозначного решения. Данная задача может быть отнесена к классу так называемых обратных задач динамики [4], когда при заданных законах изменения вектора ускорений БЛА $a_B(t) = [\ddot{x}(t), \ddot{y}(t), \ddot{z}(t)]^T$, входящих в уравнения движения БЛА [5], необходимо определить и реализовать на борту вектор управляемых воздействий, который например для квадрокоптера имеет вид $U(t) = [\omega_1(t), \omega_2(t), \omega_3(t), \omega_4(t)]^T$ [6]. Компоненты вектора $U(t)$ представляют собой скорости вращения винтов квадрокоптера.

Известные методы решения обратных задач динамики относятся к группе методов синтеза регуляторов в классе одномерных нелинейных систем. Однако система управления БЛА мультироторного типа (мультикоптеров) является многомерной, поэтому применение данных методов возможно только при реализации развязки каналов управления мультикоптером. После этого может быть решена задача аналитического синтеза структуры регулятора (автопилота БЛА) для одного из каналов управления.

На этапе предварительного проектирования БЛА для синтеза приближенной математической модели автопилота может быть применен метод модального управления [4]. Данный подход к синтезу автопилота БЛА успешно использован в работах [7,

8] при рассмотрении синтеза структуры автопилота БЛА (регулятора системы управления) для одного канала БЛА. Структурная схема формирования управляющего сигнала системы в этом случае представляется в следующем виде (рис. 1) [8].

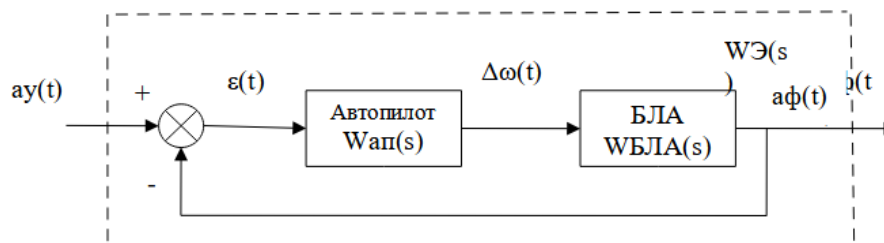


Рисунок 1. Структурная схема системы управления БЛА

На рис. 1 введены следующие обозначения: $a_y(t)$ – управляющая перегрузка, приложенная к центру масс БЛА (заданная, требуемая); $a_\phi(t)$ фактическая перегрузка центра масс БЛА, определяемая его аэродинамическими и конструктивными характеристиками; $\varepsilon(t) = a_y(t) - a_\phi(t)$; $W_{\text{БЛА}}(s)$ – передаточная функция БЛА, характеризующая его конструктивные особенности; $W_{\text{ап}}(s)$ – передаточная функция автопилота; $W_\Sigma(s)$ – эталонная передаточная функция замкнутой системы; $\Delta\omega(t)$ – для БЛА мультироторного типа представляет собой управляющие приращения скоростей вращения винтов [5].

При заданной передаточной функции $W_{\text{БЛА}}(s)$ для определения $W_{\text{ап}}(s)$ необходимо задать $W_\Sigma(s)$ исходя из требований к системе в целом. В первую очередь необходимо обеспечить устойчивость синтезированной замкнутой системы управления известными методами, среди которых наиболее распространенными являются алгебраический метод Рауса-Гурвица и частотный метод Найквиста-Михайлова [4].

Необходимо определить закон изменения приложенной к центру масс БЛА силы, под действием которой выполняется движения БЛА по заданной траектории и при этом обеспечиваются заданные свойства системы, определяемые эталонной передаточной функцией $W_\Sigma(s)$. Применительно к БЛА мультироторного типа необходимо изменять соответствующим образом скорости вращения винтов [5, 9]. После выполнения требований к обеспечению условий устойчивости эталонную передаточную функцию $W_\Sigma(s)$ выбирают исходя из требований, предъявляемых к точности системы при действии на неё полезных и возмущающих сигналов. Система, имеющая $W_\Sigma(s)$ должна фильтровать случайную помеху и обрабатывать полезный сигнал без ошибки в установившемся режиме. Фильтрация случайных помех – отдельная задача, решаемая на основе так называемой «теоремы разделения» перед детерминированной постановкой задачи синтеза управления [4, 8].

Лучшего качества переходных процессов (величины перерегулирования, времени переходного процесса) позволяет достичь применение в системе управления ПИД-регулятора (пропорционально-интегрально-дифференциального) [4]. Основным недостатком такого подхода к синтезу управления системой заключается в том, что ПИД-регулятор применим только в случае, когда объект управления задан линейной стационарной математической моделью в виде передаточной функции, что в реальности, как правило, имеет место в редких случаях. При этом следует учитывать, что ПИД-регулятор имеет чувствительную к изменению условий применения объекта управления амплитудно-фазовую частотную характеристику [4], что приводит к необходимости использования для обеспечения управления системой специальных алгоритмов настройки коэффициентов ПИД-регулятора.

Таким образом, применительно к объекту управления, для которого нет адекватной математической модели, применение ПИД-регулятора может дать результат, который не только не обеспечит требуемое качество управления, но и приведет к неустойчивости системы управления в целом. В этом случае необходимо искать решение задачи синтеза регулятора путем использования методов, применяемый для синтеза управления неформализуемыми или трудноформализуемыми объектами управления.

Синтез нечеткого регулятора

Система управления любого БЛА, в том числе и мультикоптера, описывается математической моделью нелинейного, нестационарного вида [5, 9], поэтому здесь целесообразно использовать регуляторы с нечеткой логикой, которые активно применяются в нелинейных системах или в системах с нелинейными внешними воздействиями, в системах с большим временем задержки [10].

Рассмотрим применение регулятора с нечеткой логикой – нечеткого регулятора (НЛ-регулятора)

в одном из каналов системы управления БЛА, например – канале крена квадрокоптера. Для БЛА мульти-роторного типа отличия между каналами управления креном, курсом, тангажом являются незначительными и определяются в первую очередь конструктивной компоновкой БЛА, размещением на борту БЛА целевой нагрузки.

На рис. 2 представлена схема канала управления БЛА, выполненная в компьютерной среде SiminTech с регулятором нечеткой логики – НЛ-регулятором (РНЛ). В качестве моделей измерителей выходного сигнала БЛА (угла крена) и его производной используются математические модели установленных на борту БЛА гироскопических датчиков. В данной математической модели они считаются безынерционными, так как их постоянные времени существенно меньше постоянной времени математической модели перемещения БЛА в пространстве [9].

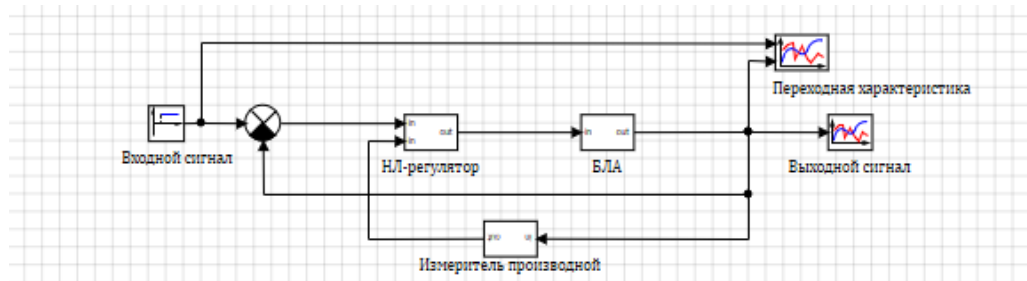


Рисунок 2. Схема канала управления с НЛ-регулятором

На рис. 3 обозначено: $\Rightarrow$ – блоки импликации и $\&$ – блоки конъюнкции, которые осуществляют операцию нечеткого логического вывода, включающего вычисление степени истинности заданных условий, соединенных логической операцией (процедура агрегации) и определение истинности для всех условий каждого правила (процедура активиза-

Пакет компьютерного моделирования динамических систем SiminTech получает широкое распространение среди русскоязычных пользователей благодаря удобному интерфейсу и заложенным в его структуре широким возможностям по моделированию электромеханических мехатронных систем [11]. Исходя из этого, пакет SiminTech целесообразно применять для математического моделирования полета БЛА и функционирования его систем [12].

На рис. 3 представлена схема НЛ-регулятора (РНЛ), реализованная в среде SiminTech. На входы РНЛ поступают отклонение регулируемого параметра и скорость изменения данного параметра. Отклонение в данном случае означает разность между заданным (требуемым) и фактическим (измеренным) значениями регулируемого параметра, характеризующего движение БЛА в пространстве, например – изменение углового положения БЛА.

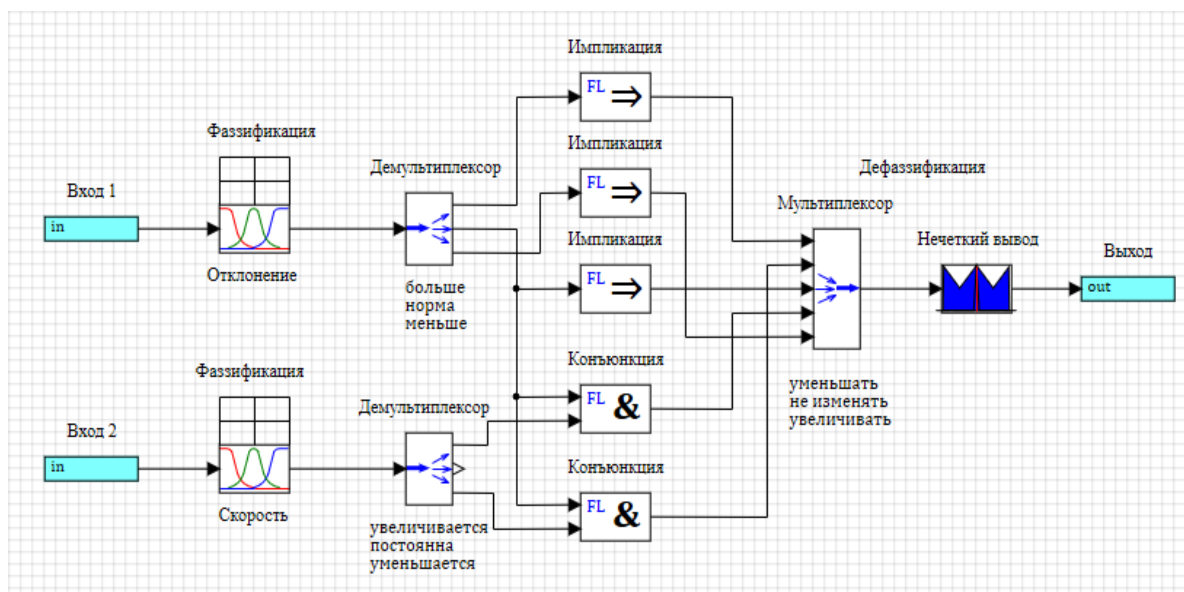


Рисунок 3. Схема НЛ-регулятора

Мультиплексор и блок нечеткого вывода (треугольная функция) выполняют операцию дефаззификации (приведение к четкости) – расчет числового значения выходной переменной.

Среди различных известных систем нечеткого вывода наиболее распространенной является система Мамдани. Подробное описание таких систем приведено в [4, 10, 13].

На рис. 4 изображены переходные характеристики (выходной сигнал системы при единичном ступенчатом входном сигнале), полученные при применении в канале управления мультикоптером и при одних и тех же условиях различных типов регуляторов. Графики изменения во времени входного и выходного сигналов канала управления БЛА получены и представлены в среде SiminTech.

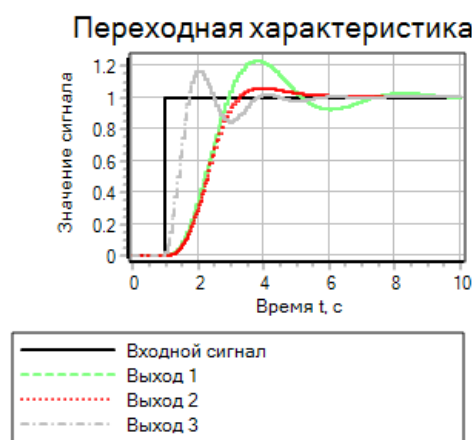


Рисунок 4. Переходные характеристики различных регуляторов

В качестве входного сигнала здесь используется нормированный (приведенный к единице) входной сигнал управления углом разворота мультикоптера. Выход 1 на рис. 4 представляет график изменения во времени выходного сигнала системы управления при применении П-регулятора, выход 2 – НЛ-регулятора, выход 3 – ПИД-регулятора.

Заключение

Таким образом применяемые в качестве элементов автопилота БЛА регуляторы нечеткой логики по сравнению с другими регуляторами обеспечивают необходимое качество переходных процессов в системе управления БЛА при обеспечении устойчивости к нежелательным внешним воздействиям, что делает эти регуляторы перспективными для применения в нелинейных нестационарных системах управления подвижными объектами, к которым относятся БЛА. Применение в системах управления БЛА регуляторов нечеткой логики позволяет обеспечить надежную работу системы управления, адаптируемую к различным условиям применения и различной целевой нагрузке БЛА.

Современные миниатюрные цифровые автопилоты позволяют реализовать на борту БЛА нечеткие регуляторы различной сложности и конфигурации. Синтез и математическое моделирование таких регуляторов удобно выполнять в компьютерной среде SiminTech, позволяющей разработчикам на этапе предварительного проектирования системы управления решать все поставленные задачи синтеза системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования** / под ред. И.С. Голубева, И.К. Туркина. – М.: МАИ, 2010. – 654 с.
2. **Беспилотные летательные аппараты:** http://geoportal.by/index/bespilotnye_letatelnye_apparaty/0-434/.
3. **Гу Пэнхао.** Особенности моделирования операторного управления беспилотным летательным аппаратом и его целевой нагрузкой / А.А. Лобатый, Гу Пэнхао, П.И. Савёлов // Системный анализ и прикладная информатика. – 2022. – № 4. – С. 24-28.
4. **Методы классической и современной теории автоматического управления:** в 5 т. / под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 5 т.
5. **Гу Пэнхао.** Математическое моделирование движения летательных аппаратов мультироторного типа / А.А. Лобатый, Гу Пэнхао // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 1. – С. 10-15.
6. **Гу Пэнхао.** Форсированное управление квадрокоптером / Гу Пэнхао, Ю.А. Леоновец, А.А. Лобатый // Наука и техника. – 2023. – Том 22. – № 2. – С. 91-95.
7. **Лобатый, А.А.** Модальное управление беспилотным летательным аппаратом / А.А. Антаневич, Ю.Ф. Икуас // Вестник БНТУ. – 2010. – № 5. – С. 37-40.
8. **Лобатый, А.А.** Поэтапный аналитический синтез математической модели автопилота беспилотного летательного аппарата / А.А. Лобатый, А.Ю. Бумай, С.С. Прохорович // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – № 1. – С. 21-28.
9. **Моисеев, В.С.** Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами / В.С. Моисеев. – Казань: ГБУ РЦМКО, 2013. – 768 с.

10. Гостев, В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления / В.И. Гостев. – СПб.: БХВ. – Петербург, 2011. – 416 с.
11. Герман-Галкин, С.Г. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SiminTech / Б.А. Карташов, С.Н. Литвинов. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 494 с.
12. Щекагуров, А.М. Методика моделирования динамики октокоптера / А.М. Щекагуров. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 228 с.
13. Демичева, Г.Д. Регуляторы на основе нечеткой логики в системах управления техническими объектами / Г.Д. Демичева, Д.В. Лукичев. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 81 с.

REFERENCES

1. **Unmanned aerial vehicles.** Basics of the device and functioning / edited by I.S. Golubev, I.K. Turkin. – M.: MAI, 2010. – 654 p.
2. **Unmanned aerial vehicles:** http://geoportal.by/index/bespilotnye_letatelnye_apparaty/0-434/.
3. **Gu Penghao.** Features of modeling operator control of an unmanned aerial vehicle and its target load / A.A. Lobaty, Gu Penghao, P.I. Savelov // Systems analysis and applied informatics. – 2022. – No. 4. – P. 24-28.
4. **Methods of classical and modern theory of automatic control:** in 5 volumes / edited by K.A. Pupkov and N.D. Egupov. – M.: Publishing house of Bauman Moscow State Technical University, 2004. – 5 vol.
5. **Gu Penghao.** Mathematical modeling of multirotor aircraft motion / A.A. Lobaty, Gu Penghao // Systems analysis and applied informatics. – 2023. – No. 1. – P. 10-15.
6. **Gu Penghao.** Forced control of a quadcopter / Gu Penghao, Yu.A. Leonovets, A.A. Lobaty // Science and Technology. – 2023. – Vol. 22. – No. 2. – P. 91-95.
7. **Lobaty, A.A.** Modal control of an unmanned aerial vehicle / A.A. Antanovich, Yu.F. Ikuas // Bulletin of BNTU. – 2010. – No. 5. – P. 37-40.
8. **Lobaty, A.A.** Step-by-step analytical synthesis of a mathematical model of an unmanned aerial vehicle autopilot / A.A. Lobaty, A.Yu. Bumay, S.S. Prokhorovich // Systems analysis and applied informatics. – 2021. – No. 1. – P. 21-28.
9. **Moiseev, V.S.** Applied Theory of Unmanned Aerial Vehicle Control / V.S. Moiseev. – Kazan: GBU RCMKO, 2013. – 768 p.
10. Gostev, V.I. Design of Fuzzy Controllers for Automatic Control Systems / V.I. Gostev. – St. Petersburg: BHV. – St. Petersburg, 2011. – 416 p.
11. **German-Galkin, S.G.** Model Design of Electromechanical Mechatronic Motion Modules in the SiminTech Environment / B.A. Kartashov, S.N. Litvinov. – Moscow: DMC Press, 2021. – 494 p.
12. **Shchekaturov, A.M.** Methodology for Modeling Octocopter Dynamics / A.M. Shchekaturov. – M.: DMC Press, 2021. – 228 p.
13. **Demicheva, G.D.** Fuzzy logic controllers in control systems of technical objects / G.D. Demicheva, D.V. Lukichev. – St. Petersburg: ITMO University, 2017. – 81 p.

GU PENGHAO, LOBATY A.A.

APPLICATION OF FUZZY CONTROLLERS IN THE AUTOPILOT OF AN UNMANNED AERIAL VEHICLE

*Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

The article is devoted to the study of the features of the application of regulators built on the use of theoretical provisions of fuzzy logic, when creating autopilots of unmanned aerial vehicles (UAVs). The substantiation of the principles and methods of synthesizing a mathematical model of an autopilot as applied to a multi-rotor UAV, the features of the application of various mathematical models of regulators, their advantages and disadvantages is carried out. A reasonable conclusion is made that the use of traditional approaches based on the use of linear mathematical models of the control object does not ensure the required quality of control in a wide range of UAV application conditions in the presence of restrictions and external influences on the control process. It is proposed to use the principles and methods of fuzzy mathematics, which underlie the increasingly widespread fuzzy logic controllers (FL controllers), when constructing a mathematical model of a UAV autopilot. The construction of a UAV control channel based on the use of a fuzzy logic controller is considered, and a description of the controller structure implemented in the SiminTech computer environment is given. Using mathematical modeling, a comparison was made of the performance and transient characteristics of the NL controller with the PID controller and the P controller as applied to the control system of one of the UAV channels – the roll control channel. It has been established that fuzzy logic controllers used as elements of UAV autopilots, compared to other controllers, provide the necessary quality of transient processes in the UAV control system with resistance to undesirable external influences, which makes these controllers promising for use in nonlinear non-stationary control systems for moving objects, which include UAVs.

Key words: *unmanned aerial vehicle, mathematical model, fuzzy controller, transient response*

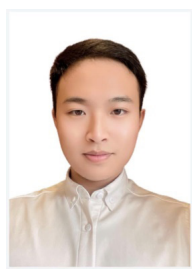


Лобатый Александр Александрович, доктор технических наук, профессор. Проводит исследования в области анализа и синтеза систем управления, в том числе - беспилотными летательными аппаратами. Автор и соавтор множества статей в научных журналах и конференциях, автор ряда книг и учебных пособий.

Lobaty A.A., Doctor of Science, Professor. Conducts research in the areas of analysis and synthesis of control systems including unmanned aerial vehicles. He is the author and co-author of many articles in scientific journals, conferences and books.

Тел: +375 (29) 346-82-56

E-mail: lobaty@bntu.by



Гу Пэнхао, аспирант кафедры «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета. Проводит исследования в области анализа и синтеза систем управления применительно к беспилотным летательным аппаратам.

Gu Penghao, post-graduate student of the Department of Robotic Systems, Belarusian National Technical University. Conducts research in the field of analysis and synthesis of stochastic control systems in relation to unmanned aerial vehicles.

E-mail: gupenghaoby@gmail.com

**ОБРАБОТКА
ИНФОРМАЦИИ
И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ**

**DATA PROCESSING
AND
DECISION-MAKING**

ВИШНЯКОВ В.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БЛОКЧЕЙН В ИТ-МЕДИЦИНЕ

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

Предметом исследований является использование технологии блокчейн в ИТ-медицине. Цель статьи – провести анализ использования технологии блокчейн в ИТ-медицине, проанализировать ее использование в мире, предложить модели: направления блокчейн в медицине и электронного маркетинга. Рассмотрены основные направления использования технологии блокчейн в медицине. Определено применение и перспективы использования блокчейн в медицинских учреждениях России и развитых стран мира. Проведен анализ различных проектов. Технологии блокчейн позволяют перенести работу на цифровой носитель, оцифровать все данные и работать со всеми документами в рамках большой глобальной информационной системы. Преимущества: децентрализация, личное владение медицинскими данными, доступность и надежность, прозрачность и доверие, проверяемость данных. Разработана модель информационного управления в ИТ-медицине с использованием блокчейн, включающая управление электронными медицинскими картами; управление цепочками поставок лекарств и борьба с контрафактом; анализ медицинских данных; проведение клинических и биомедицинских исследований; удаленный мониторинг пациентов. Разработана структура интернет-маркетинга на базе распределенной системы с использованием портала подсистем поставок и распределением лекарств для удовлетворения потребностей пациентов для различных медицинских учреждений Республики Беларусь, с поддержкой интеллектуальных агентов и блокчейн-технологий.

Ключевые слова: сети блокчейн, ИТ-медицина, анализ проектов, модель блокчейн в медицине, интернет маркетинг в фармакологии

Введение

За последние 10 лет технология блокчейн набрала огромную популярность практически с нуля. Блокчейн уже успешно применяется во многих сферах, в том числе, в здравоохранении. Считается, что она предоставляет большие возможности для совершенствования и услуг из-за распределенного, децентрализованного характера и таких функций, как постоянство записи в блоках и возможность запуска смарт-контрактов. Эти особенности делают продукты или услуги, основанные на технологии блокчейн, отличными от разработок Интернета, и представляют особый интерес для экономики в целом и ИТ-медицины в частности. В сфере ИТ-медицины деятельность, которая может быть улучшена технологией блокчейн, включает: электронные медицинские карты, сбор и управление данными, отслеживание цепочки поставки лекарств, медицинское страхование, удаленный мониторинг пациентов [1].

Способность блокчейн создавать структуры управления данными, в которых пользователи имеют больше прав собственности и контроля, может снизить затраты медицинских организаций на управление данными. Криптовалюты, основанные на блокчейне, могут использоваться для облегчения платежей в некоторых медицинских учреждениях [2].

Краткие основы блокчейн

Блокчейн – это распределенный реестр, который обеспечивает способ записи информации и совместного использования сообществом, в котором каждый участник ведет свою собственную копию информации, все участники должны проверять любые обновления коллективно. Информация может представлять собой транзакции, контракты, акты, идентификационные данные или практически все остальное, что может быть описано в цифровой форме. Каждое обновление – это новый «блок», добавляемый в конец «цепочки». С помощью блокчейна криптология заменяет сторонних посредников в качестве хранителя доверия, при этом все участники блокчейна запускают сложные алгоритмы для подтверждения целостности информации.

Первым известным блокчейном был Биткойн, который также является названием первой широко используемой децентрализованной криптовалютой [3]. Существуют другие блокчейны, имеющие широкое применение, такие как Ethereum [4], IPFS или Overstock и др.

Основные составляющие технологии блокчейн на примере Биткойна: криптография, транзакции, протокол, цепочка блоков и доказательство работы (майнинг) [5]. В Bitcoin используется криптография на эллиптических кривых. Применены технологии хэширование электронной цифровой подписи, шифрование с открытым и закрытым

ключами, поиски консенсуса при формировании новых блоков.

Транзакция, это сложная структура с входами и выходами. Входы, это транзакции, на которые ссылаются. Выходы, упрощенно, это адреса, на которые будут переведены средства. В Биткойне: входы – это транзакции, пополняющие биткойн-адрес, а выходы – это суммы, которые переводятся на другие биткойн-адреса. Для работы с транзакциями существует собственный язык Script [4]. Для работы с транзакциями используется специальный протокол.

Структура блока включает: версию блока, хэш предыдущего блока, хэш всех транзакций блока, дату и время создания блока, параметры nonce и bits, которые записываются при майнинге (доказательство работы), число транзакций в блоке и их список. Майнинг – деятельность по поддержанию распределенной платформы и созданию новых блоков с возможностью получить вознаграждение в форме эмитированной валюты.

Использование БЧ в ИТ-медицине

Блокчейн хорошо подходит для хранения и управления электронными медицинскими картами, записями и информацией о здоровье пациента. Решения на базе блокчейн делают записи о данных пациента быстродоступными, обеспечивают безопасность и целостность информации, а также помогают упростить медицинскую отчетность. Шифрование данных обеспечивает конфиденциальность и безопасность записей [6].

Сбор и управление данными. В сфере здравоохранения используется большое число умных медицинских устройств, которые постоянно собирают и отслеживают различную информацию. Блокчейн обеспечивает постоянный контроль за такими устройствами, который до минимума исключает какие-либо манипуляции с ними, организацию объективной очередности пациентов.

Отслеживание цепочек поставок лекарств. Фармацевтические компании постоянно борются с распространением поддельных лекарств, пытаются завоевать доверие среди потребителей. Блокчейн открывает новые возможности в отслеживании медицинских препаратов в цепочке поставок. Системы позволяют отследить каждый этап поставки лекарства: от производителя до потребителя. Это помогает не допустить попадание поддельных препаратов на рынок, а также предотвратить потери и кражи.

Медицинское страхование. Блокчейн уже успешно применяется в сфере страхования. Медицинские страховки не являются исключением. Блокчейн помогает сократить время обработки страховых заявок, автоматизируя процессы с помощью смарт-контрактов. Хранение медицинской и страховой информации в неизменяемом реестре

помогает компаниям устранить риски мошенничества.

Удаленная диагностика. Блокчейн позволяет оптимизировать процесс сбора данных о здоровье пациента удаленно, с помощью различных мобильных устройств и датчиков. Блокчейн также помогает анализировать данные и является эффективным хранилищем с возможностью предоставления доступа нескольким учреждениям, сопровождающим пациента. IoT-инфраструктура состоит из множества связанных между собой устройств, и блокчейн ускоряет обмен данными. Параллельно AI может анализировать данные и посылать медицинским учреждениям информацию о состоянии здоровья пациента.

Одной из наиболее ценных характеристик блокчейн сетей является обеспечение неизменности, целостности данных. Это дает возможность, для медицинских целей, сохранить неизменными все данные.

Приватность. На базе блокчейн сетей возможно построить автоматические правила доступа к данным, выдающие и(или) ограничивающие такой доступ по различным событиям.

Доверие. Доверие внутри блокчейн сетей обеспечивается децентрализованной природой блокчейна, его алгоритмами консенсуса, на базе которых принимаются решения о включении данных в блокчейн сеть или получении доступа к ним.

Также наблюдается рост числа поддельных лекарств, по состоянию на 2010 год их объем оценивался примерно в 75 миллиардов долларов. Блокчейн предоставляет возможность сканировать лекарства с помощью штрих-кода и вводить их в защищенный цифровой блок на каждом этапе цепочки поставок. Этот реестр может быть просмотрен производителями, дистрибьюторами и пациентами в любой момент времени. Последствия на много выходят за рамки цепочки поставок фармацевтической продукции.

Блокчейн в медицине России. Объединенная медицинская корпорация при содействии Внешэкономбанка разработала программу мониторинга оборота лекарств в больницах, которая работает на базе облачной платформы Microsoft Azure на ее сервисе Ethereum Blockchain as a Service. Программа была запущена в России, в Новгородской области. Внедрение мониторинга позволило отслеживать дорогие лекарства, закупаемые за счет новгородского бюджета. Благодаря использованию блокчейн система мониторинга хранит подробную информацию о назначенных лекарствах, которую невозможно подменить.

Компания DeepMind, которая специализируется на вопросах искусственного интеллекта, разрабатывает на базе блокчейн-технологий реестр медицинских данных пациентов больниц. Специфика реестра заключается в том, что создаваемой

системой будут управлять медицинские учреждения, а также эксперты по работе с данными [7].

Зарубежные исследования

Эстония стала первой страной, внедрившей блокчейн в национальных масштабах. Фонд электронного здравоохранения eHealth Foundation Эстонии действует с 2008 года. В 2016 году eHealth Foundation объединился с Guardtime, компанией, которая специализируется на обеспечении безопасности данных. Guardtime помогли фонду внедрить KSI (Keyless signature infrastructure) технологию, обеспечивающую масштабные проверки подлинности данных без опоры на централизованный доверенный орган [8].

В проекте находится более 1 миллиона записей о пациентах и их данных. Инфраструктура KSI обеспечивает высокую безопасность медицинских данных, их сохранность и целостность. При любом изменении медицинской информации, блокчейн KSI автоматически создает обновленную запись, что предотвращает любую бесконтрольную манипуляцию над данными, будь то их преднамеренное изменение или удаление.

Платформа PokitDok представляет собой набор API-интерфейсов и дает разработчикам и пользователям доступ к более 700 торговым партнерам. Решение было разработано для систем здравоохранения, страховых компаний, медицинских цифровых компаний и других организаций с целью оптимизации бизнес-процессов в сфере здравоохранения.

Платформа представляет собой модульный маркетплейс состоящий из 5 компонентов: управление идентификационной информацией, управление льготными выплатами, оценка рисков неплатежеспособностями, маркетплейс и управление претензиями.

Решения PokitDok работают на основе блокчейн платформы DokChain, построенной совместно с Intel на базе Hyperledger Sawtooth Lake. DokChain представляет собой блокчейн платформу как сервис. Ее основными особенностями являются [9]: автономное и автоматическое вынесение решений по спорным вопросам страховых выплат; событийное управление цепочками поставок, например, доставка лекарств пациентам при возникновении необходимости; автоматизация рабочих процессов помощью смарт-контрактов.

FarmaTrust разрабатывает быстрое, масштабируемое и безопасное блокчейн решение, которое автоматизирует все этапы отслеживания фармацевтической продукции в цепочках поставок [10]. Созданная компанией блокчейн система Zoі помогает минимизировать затраты и ресурсы, необходимые для полноценного отслеживания препаратов. Платформа интегрируется с существующими корпоративными программными решениями и помогает

сократить вероятность дестабилизации существующих бизнес-процессов, например из-за срыва или задержки поставок товаров. Решение построено на публичном блокчейне Ethereum. Также компания успешно проводила запуски PoS на частных версиях Ethereum: Tomochain и Quorum. Платформа использует реестр для хранения данных об отслеживании медицинских препаратов, смарт контракты для автоматизации исполнения поставок легальных продуктов и искусственный интеллект для предсказания потребностей в лекарствах.

LumenLab – подразделение крупной страховой компании Metlife, расположенное в Сингапуре, запустило пилотную блокчейн платформу Insurechain для автоматизации страховых выплат [11]. Приложение Vitana, работающее на блокчейн-платформе Insurechain, создано для обеспечения финансовой защиты беременных женщин с риском возникновения гестационного диабета. Через это приложение пациент подает заявку на оформление страхового полиса. В случае, если у пользователя будет обнаружен диабет, произойдет автоматическая страховая выплата суммой \$500. Благодаря лежащей в основе приложения технологии блокчейн, оформление страхового полиса занимает лишь несколько минут, а страховые выплаты происходят автоматически, без участия пациентов. Vitana была создана при активном участии таких крупных корпораций как SwissRe, Cognizant и Vault Dragon, которые помогли LumenLab с проектированием, разработкой и внедрением проекта.

Платформа Bramble – это маркетплейс для покупки и продажи медицинских услуг. Решение дает пользователям доступ к предложениям различных инновационных медицинских услуг, созданных поставщиками напрямую, с указанием подробностей, стоимости и условиями для потребителей или сотрудников медицинской сферы [12]. Преимущества Bramble: могут появляться новые рынки с высококласными поставщиками; потребители смогут покупать услуги, основываясь на стоимости, качестве и репутации; интеграция с различными страховыми планами.

Signal stream – это распределенная платформа для автоматизации бизнес-процессов между несколькими участниками [13]. Платформа дает возможность собирать данные из различных систем, создавать отчеты и является источником достоверной информации для обеспечения работы учреждений здравоохранения. Автоматическое отслеживание сложных взаимодействий между участниками призвано обеспечить эффективность и прозрачность деловых отношений в сфере здравоохранения. Платформа Signal stream позволяет: снизить административную нагрузку, связанную со сложными рабочими процессами; отслеживать исполнения контрактов в режиме реального времени.

Применение блокчейн в медицине, позволит повысить уровень доверия между участниками. В своем исследовании Bisresearch прогнозирует, что с помощью блокчейн систем к 2025 году индустрия здравоохранения сможет сэкономить около \$100 млрд. за счет сокращения расходов, связанных с утечкой данных, поддержкой ИТ инфраструктуры, мошеннических действий, страховых махинаций, и другого.

Модель и система применения блокчейн в ИТ-медицине

Рассмотрим две задачи. Постановка первой задачи формулируется следующим образом: необходимо разработать эффективную интеллектуальную технологию для обеспечения подтверждения достоверности медицинских документов на основе технологии распределенных реестров с использованием умных контрактов, а также определить модели информационного управления для ИТ-меди-

цины. Для второй задачи надо разработать модель интернет маркетинга, чтобы сбалансировать потребности пациентов в необходимых лекарствах и поддержать это равновесие технологией блокчейн [14].

Тогда обобщенную модель для ИПВМ M_{mic} представим в виде:

$$M_{mic} = \{M_{cehr}, M_{cct}, M_{dma}, M_{cbi}, M_{rpm}\},$$

где M_{cehr} – управление электронными медицинскими картами; M_{cct} – управление цепочками поставок лекарств и борьба с контрафактом; M_{dma} – анализ медицинских данных; M_{cbi} – проведение клинических и биомедицинских исследований; M_{rpm} – удаленный мониторинг пациентов.

Рассмотрим структуру распределенной системы с использованием портала системы поставок и распределением лекарств (ПСФ) для удовлетворения пациентов для различных медицинских учреждений Республики Беларусь, которая работает с поддержкой интеллектуальных агентов и применением блокчейн технологий (рисунок 1) [14].

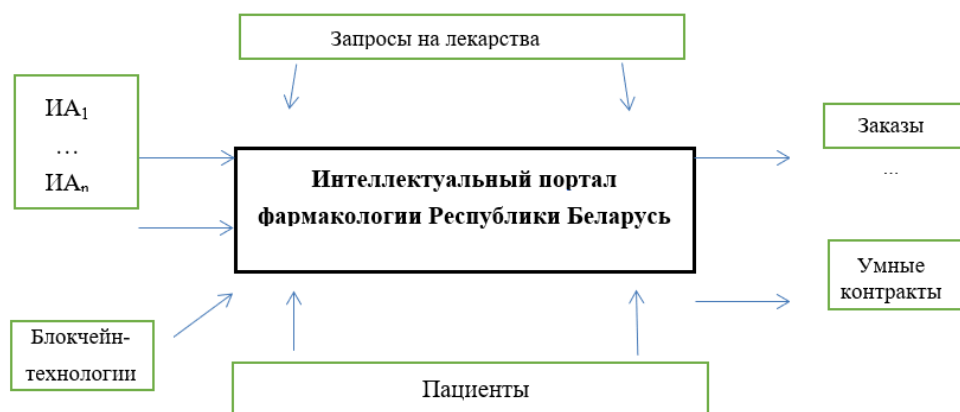


Рисунок 1. Структура системы интернет-маркетинга фармакологии

ПСФ в своем составе имеет базу знаний с алгоритмом самообучения и редактором, интеллектуальный решатель, подсистему объяснений, интерфейс ИА1...ИА_n, подсистему подтверждения достоверности на основе блокчейн. Интеллектуальные агенты ИА1...ИА_n сканируют сайты медицинских учреждений и исследовательских центров (для определения потребностей в лекарствах) и сайты компаний поставщиков лекарств (данные об имеющейся номенклатуре) и формируют базу знаний портала для поставок лекарств. Решатель находит совпадения и выдает предложения для требуемого перечня и количества лекарственных препаратов (включая прогнозные потребности), объединяя интересы пациентов, аптек и медицинских учреждений.

В результате договоров формируются умные контракты, которые поддерживаются блокчейн. Эта технология гарантирует достоверность документов по производству лекарств, а также подтверждение юридически значимых действий по их распространению в случае дефицита.

Заключение

1. Рассмотрены основные направления использования технологии блокчейн в медицине. Определено применение и перспективы использования блокчейн в медицинских учреждениях России и развитых стран мира. Проведен анализ различных проектов. Технологии блокчейн все чаще используются в медицине, они позволяют перенести работу на цифровой носитель, оцифровать все данные и работать со всеми документами в рамках большой глобальной информационной системы. Преимущества использования блокчейн в ИТ-медицине: децентрализация, личное владение медицинскими данными, доступность и надежность, прозрачность и доверие, проверяемость данных.

2. Разработана на базе теории множеств модель информационного управления в ИТ-медицине с использованием технологии блокчейн, включающая управление электронными медицинскими картами; управление цепочками поставок лекарств

и борьба с контрафактом; анализ медицинских данных; проведение клинических и биомедицинских исследований; удаленный мониторинг пациентов.

3. Разработана структура интернет-маркетинга на базе распределенной системы с использова-

нием портала подсистем поставок и распределения лекарств для удовлетворения потребностей пациентов для различных медицинских учреждений Республики Беларусь, которая работает с поддержкой интеллектуальных агентов и применением блокчейн-технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Топ 5 блокчейн проектов в сфере здравоохранения** [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://digiforest.io/blog/blockchain-projects-in-healthcare-part2>. – Дата доступа : 10.03.2023.
2. **Блокчейн в медицине и фармацевтике: полный обзор возможностей** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vc.ru/u/613021-pavel-svirsky/179894-blokcheyn-v-medicine-i-farmaceutike-polnyy-obzor-vozmoghnostey>. – Дата доступа: 10.04.2023.
3. **Introducing Blockchain Impact Award Winner Chronicled** [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.newsweek.com/2019/03/08/introducing-blockchain-impact-award-winner-chronicled-1339358.html>. – Access date: 30.05. 2023.
4. **Как работает Эфириум?** [Электронный ресурс]. – Режим доступа :<https://habr.com/ru/post/407583/> – Дата доступа: 20.06.2023.
5. **Zero-Knowledge Supply Chain Blockchain, MediLedger** [Electronic resource]. – Access mode : [outube.com/watch?v=mNfeO0F_zLg](https://www.youtube.com/watch?v=mNfeO0F_zLg). – Access date: 30.07. 2023.
6. **Hashed Health – Reformatting the Healthcare Narrative with Blockchain Technology** [Электронный ресурс]. – Access mode: <https://medium.com/@bbrodtkin09/hashed-health-reformatting-the-healthcare-narrative-with-blockchain-technology-bd6e7c663e53>. – Access date: 15.08.2023.
7. **Куракова, Н.Г.** Технологии блокчейн в здравоохранении: позиции России на глобальном публикационном ландшафте / Н.Г. Куракова, О.В. Черченко, Л.А. Цветкова // Врач и информационные технологии. – 2021. – № 1. – С. 25-39.
8. **Estonian eHealth Foundation** [Electronic resource]. – Access mode: <https://ee.linkedin.com/company/estonian-ehealth-foundation>. – Access date: 10.09. 2023.
9. **PokitDok** [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.linkedin.com/company/pokitdok>. – Access date: 20.09. 2023.
10. **FarmaTrust** [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/@farmatruster>. – Access date: 30.09. 2023.
11. **Insure Chain Network** [Electronic resource]. – <https://insurechain.network/>. – Access date: 10.10. 2023.
12. **Bramble** [Electronic resource]. – <https://www.linkedin.com/company/brmb1>. – Access date: 20.09.
13. **Signal stream** [Electronic resource]. – <https://signal.stream/en/>. – Access date: 25.10.23.
14. **Вишняков, В.А.** Технология блокчейн в образовании и ИТ-медицине: модели, алгоритмы, программные средства. Монография. / В.А. Вишняков, Д.А. Качан. – Минск: РИВШ, 2023. – 184 с.

REFERENCES

1. **Top 5 blockchain projects in the field of healthcare** [Electronic resource]. – Access mode : <https://digiforest.io/blog/blockchain-projects-in-healthcare-part2> . – Access date : 10.03.2023.
2. **Blockchain in medicine and pharmaceuticals: a complete overview of the possibilities** [Electronic resource]. – Access mode: <https://vc.ru/u/613021-pavel-svirsky/179894-blokcheyn-v-medicine-i-farmaceutike-polnyy-obzor-vozmoghnostey>. – Access date: 10.04.2023.
3. **Introducing Blockchain Impact Award Winner Chronicled** [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.newsweek.com/2019/03/08/introducing-blockchain-impact-award-winner-chronicled-1339358.html>. – Access date : 30.05. 2023.
4. **How does Ethereum** [Electronic resource]. – Access mode :<https://habr.com/ru/post/407583/> – Access date: 20.06.2023.
5. **Zero-Knowledge Supply Chain Blockchain, MediLedger** [Electronic resource]. – Access mode: [outube.com/watch?v=mNfeO0F_zLg](https://www.youtube.com/watch?v=mNfeO0F_zLg). – Access date: 30.07. 2023.
6. **Hashed Health – Reformatting the Healthcare Narrative with Blockchain Technology** [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/@bbrodtkin09/hashed-health-reformatting-the-healthcare-narrative-with-blockchain-technology-bd6e7c663e53>. – Access date: 15.08.2023.
7. **Kurakova, N. G.** Blockchain technologies in healthcare: Russia's Position on the global publishing landscape / N. G. Kurakova, O. V. Cherchenko, L. A. Tsvetkova // Doctor and Information Technologies. – 2021. – No. 1. – Pp. 25-39.
8. **Estonian eHealth Foundation** [Electronic resource]. – Access mode: <https://ee.linkedin.com/company/estonian-ehealth-foundation>. – Access date: 10.09. 2023.
9. **PokitDok** [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.linkedin.com/company/pokitdok>. – Access date: 20.09. 2023.

10. **FarmaTrust** [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/@farmatrust>. – Access date: 30.09. 2023.
11. **Insure Chain Network** [Electronic resource]. – <https://insurechain.network/>. – Access date: 10.10. 2023.
12. **Bramble** [Electronic resource]. – <https://www.linkedin.com/company/brmb1>. – Access date: 20.09.
13. **Signal stream** [Electronic resource]. – <https://signal.stream/en/>. – Access date: 25.10.23.
14. **Vishniakou, U. A.** Blockchain technology in education and IT medicine: models, algorithms, software tools. Monograph. / V. A. Vishnyakov, D. A. Kachan. – Minsk: Riga, 2023. – 184 p.

VISHNIAKOU U.A.

THE USE OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN IT-MEDICINE

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

The subject of research is the use of blockchain technology in IT medicine. The purpose of the article is to analyze the use of blockchain technology in IT medicine, analyze its use in the world, and propose models: the directions of blockchain in medicine and electronic marketing. The main directions of using blockchain technology in medicine are considered, the application and prospects of using blockchain in medical institutions of Russia and developed countries of the world are determined. The analysis of various projects is carried out. Blockchain technologies allow you to transfer work to a digital medium, digitize all data and work with all documents within a large global information system. Advantages: decentralization, personal ownership of medical data, accessibility and reliability, transparency and trust, verifiability of data. A model of information management in IT medicine using blockchain has been developed, including the management of electronic medical records; drug supply chain management and anti-counterfeiting; analysis of medical data; conducting clinical and biomedical research; remote monitoring of patients. The structure of Internet marketing has been developed on the basis of a distributed system using a portal of subsystems for the supply and distribution of medicines to meet the needs of patients for various medical institutions of the Republic of Belarus, with the support of intelligent agents and blockchain technologies.

Keywords: *blockchain networks, IT-medicine, projects analysis, blockchain model in medicine, Internet marketing in pharmacology*



Вишняков Владимир Анатольевич, д.т.н., профессор, профессор БГУИР, кафедра ИКТ. Область научных интересов: информационное управление и безопасность, электронный бизнес, интеллектуальные системы управления, сети интернет вещей, блокчейн. Член 2-х докторских Советов по защите диссертаций. Автор более 500 научных работ, в том числе 8 монографий (2 на английском языке), 4-х учебных пособий с грифом Министерства образования, 8-и томного учебного комплекса «Информационный менеджмент», 195 научных статей.

Vishniakou Uladzimir Anatolyevich. Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of BSUIR, Department of ICT. Research interests: information management and security, electronic business, intelligent control systems, IoT network. Member of 2 doctoral Councils for the defense of dissertations. Author of more than 470 scientific papers, including 6 monographs (1 in English), 4 textbooks with the stamp of the Ministry of Education, 8-volume educational complex "Information Management", 175 scientific articles.

E-mail: vish2002@list.ru

Shaya Bahaa, master of technical science, PhD-student of ICT department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. Research interests: information management and intelligent control systems.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В ОБРАЗОВАНИИ**

**INFORMATION
TECHNOLOGIES
IN EDUCATION**

КИСЕЛЬ Т.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛЕЙ КОНКУРСНОГО ОТБОРА АБИТУРИЕНТОВ

*Полесский государственный университет
г. Пинск, Республика Беларусь*

Обеспечение набора студентов на первый курс – одна из ключевых задач учреждений высшего образования, возможность реализации которой во многом зависит от системы отбора абитуриентов в вузы. Целью исследования являлось изучение современной практики приема в вузы Республики Беларусь, в частности организации конкурсного отбора по группам специальностей, выявлению сильных и слабых сторон данного подхода и разработке рекомендаций по его совершенствованию. Предложен способ оптимизации набора специальностей, который позволит повысить обоснованность решений, принимаемых абитуриентами при выборе специальностей и, следовательно, уровень их удовлетворенности результатами конкурсного отбора; вузам – обеспечить набор наиболее подготовленных и мотивированных студентов, выполнить план приема.

Ключевые слова: вуз, абитуриент, специальность, группа специальностей, приоритет специальности, конкурс, конкурсный отбор, отдельный конкурс, общий конкурс, зачисление

Введение

В ходе приемной кампании (ПрК), по ряду причин, многие вузы сталкиваются с проблемой, связанной с обеспечением набора студентов на первый курс. Как следствие, ежегодно, в высших учебных заведениях Республики Беларусь фиксируется недобор абитуриентов не только на платную, но и на бюджетную форму обучения. Большую роль, в решении указанной проблемы, играет организация правильной и своевременной профориентационной работы. В тоже время, наряду с традиционно проводимым комплексом профориентационных мероприятий, направленных на решение задач по обеспечению набора, у вузов (благодаря автоматизации) появился дополнительный способ гибкого привлечения абитуриентов – организация конкурсного отбора по группам специальностей на основе системы приоритетов.

Организации конкурсного отбора по группам специальностей посвящен ряд отечественных, российских и зарубежных работ. Необходимо отметить работы российских авторов – Т.А. Погромской, О.Л. Епанчинцевой, А.И. Пыхтина, О.В. Овчинкина, А.С. Нестерова и белорусских – Н.А. Дубко, Н.В. Русиной. В последние годы разработке программного обеспечения для управления приемной кампанией высшего учебного заведения уделяется существенное внимание. Еще в 2010 году, по поручению Министерства образования Республики Беларусь, в БГУИР была разработана автоматизированная система подачи заявлений и зачисления (АСПЗиЗ). В том же году система прошла успешную апробацию при подаче заявлений и зачислении на платное отделение, во время которой конкурс был проведен не по отдельным специальностям,

а по группе специальностей технико-технологического профиля. В 2011 году система заработала для всех поступающих в университет абитуриентов. На сегодняшний день, системой отбора с общим конкурсом по группам специальностей пользуется ряд белорусских вузов. Данная возможность широко используется не только в нашей стране, но и в странах постсоветского пространства [1]. Вместе с тем, возможность организации конкурсного отбора по объединенным группам специальностей представляет большую вариативность при формировании заявления, что может представлять сложность для абитуриентов и приводить к не желательным последствиям. При этом вопросы поддержки принятия решений, при формировании абитуриентом набора предпочтительных специальностей, в известных работах затронуты лишь частично [2].

Цель данного исследования являлось изучение современной практики приема в вузы Республики Беларусь, в частности организации конкурсного отбора по объединенным группам специальностей, выявление сильных и слабых сторон данного подхода и разработка рекомендаций по его совершенствованию.

Общий конкурс по группам специальностей

Согласно правилам приема, при использовании автоматизированной системы зачисления, абитуриент имеет возможность участвовать в конкурсе на любое число специальностей в рамках выбранной группы в порядке приоритета, определенного им самим в заявлении при подаче документов [3].

Организация конкурсного отбора по группам специальностей имеет ряд преимуществ: позволяет повысить шансы на поступление в вуз,

максимально учитывая пожелания абитуриентов с учетом набранных ими баллов на вступительных испытаниях; вузам – отобрать наиболее подготовленных, автоматически отсеивая слабых участников; определить специальности, которые пользуются у абитуриентов особым спросом; снизить вероятность дополнительного набора, делая, таким образом, классический конкурсный отбор более эффективным, справедливым и качественным.

В ходе изучения порядков приема вузов было установлено, что около 70 % белорусских вузов предоставляют абитуриентам возможность участвовать в конкурсном отборе одновременно на не-

сколько специальностей, в рамках выбранной группы (зачисление производится на специальность). К данной категории относятся почти все областные (за исключением медицинских) и региональные вузы, большая часть столичных вузов. Раздельный конкурс используют исключительно все вузы Министерства здравоохранения Республики Беларусь, большая часть вузов Министерства культуры, большинство вузов силовых структур Республики (так как поступление в перечисленные вузы имеет свои особенности), а также некоторые ведущие столичные вузы, не испытывающие проблем с набором (таблица 1).

Таблица 1. Количество вузов использующих общий и раздельный конкурс

Регионы Беларуси	Всего вузов	Количество вузов использующих	
		общий конкурс	раздельный конкурс
Брест и Брестская область	4	4	0
Витебск и Витебская область	6	5	1
Гомель и Гомельская область	6	4	2
Гродно и Гродненская область	3	2	1
Минск и Минская область	29	17	12
Могилев и Могилевская область	5	5	0
Итого	53	37	16

Особую актуальность, в последнее время, приобретает вопрос проведения общего конкурса в вузах единой направленности. В 2023 году впервые был организован объединенный прием абитуриентов сразу в два учреждения Министерства внутренних дел – столичную Академию МВД и Могилевский институт МВД.

Общий конкурс по группам специальностей

Организация конкурсного отбора по группам специальностей предполагает наличие групп объединяющих специальности по некоторым признакам. Главным условием добавления специальности в группу, является единый набор вступительных испытаний. Вузы формируют группы специальностей: 1) в рамках факультета (в состав группы входят специальности одного факультета); 2) между факультетами (в группу могут входить специальности разных факультетов); 3) сквозным объединением специальностей вуза (все специальности вуза, с одинаковым набором вступительных испытаний). Состав групп, условия и порядок проведения конкурсного отбора каждый вуз определяет самостоятельно. Многие вузы рекомендуют абитуриентам указывать в заявлении максимально-возможное количество специальностей, чтобы повысить свои конкурсные возможности.

На протяжении ряда лет, вузы Республики Беларусь, используют две модели конкурсного отбора [4]. Суть алгоритмов данных моделей заключается в следующем. Абитуриент в заявлении указывает специальности в порядке предпочтения в рамках выбранной им группы. После окончания приема документов (в основной этап поступления) для проведения процедуры зачисления, все абитуриенты выстраиваются в рейтинговый список, имеющий следующую структуру: группа 1 – абитуриенты, поступающие без вступительных испытаний (пункт 23 Правил приема); группа 2 – абитуриенты, поступающие вне конкурса (пункт 26 Правил приема); группа 3 – абитуриенты, поступающие по конкурсу, на общих основаниях (группа 3 формируется в порядке убывания набранной абитуриентами общей суммы баллов). Первыми зачисляются абитуриенты первой группы, затем второй и, в последнюю очередь, начинается зачисление третьей группы.

Зачисление третьей группы начинается с абитуриента имеющего максимальное количество набранных баллов. Проверяется наличие свободных мест для зачисления на первую специальность, указанную в заявлении данного абитуриента. В случае если место есть – абитуриент зачисляется на данную специальность, иначе рассматривается следующая специальность из приоритетного списка. И так

проверяются все специальности в заявлении до тех пор, пока абитуриент не будет зачислен или не закончатся желаемые специальности. Далее, согласно первому алгоритму, абитуриент, не прошедший по конкурсу ни на одну из перечисленных в заявлении специальностей, не подлежит зачислению. Согласно второму алгоритму, если список специальностей исчерпан, а абитуриент не попал ни на одну специальность из списка, абитуриент попадает в промежуточный список незачисленных. После обработки заявлений всех проранжированных абитуриентов может возникнуть две ситуации: первая – все специальности заполнены; вторая – остались вакантные места на некоторых из них. В первом случае абитуриенты из списка незачисленных считаются не прошедшими конкурсный отбор. Во втором случае абитуриенты из списка незачисленных снова ранжируются по сумме набранных баллов и с большими баллами зачисляются на вакантные места незаполненных специальностей решением приемной комиссии.

Обе модели конкурсного отбора имеют как преимущества, так и недостатки. При использовании модели на основе первого алгоритма существует вероятность дополнительного набора, что исключает модель, основанная на втором алгоритме, так как возможные вакантные места заполняются решением приемной комиссии. Однако зачисление решением приемной комиссии довольно часто приводит к отчислениям студентов (по собственному желанию) после процедуры зачисления, что крайне редко наблюдается при использовании первой модели, а также при классическом раздельном конкурсе. Таким образом, для первого алгоритма –

увеличивается вероятность дополнительного набора, уменьшается вероятность отчисления зачисленных по собственному желанию. Для второго алгоритма – уменьшается вероятность дополнительного набора, однако увеличивается вероятность отчисления зачисленных по собственному желанию. Решением для оптимизации двух алгоритмов (A_1 и A_2) является оптимизация формирования набора специальностей и их ранжирование в заявлении. Для определения оптимального набора с рангами специальностей, можно воспользоваться методом Кемени-Снелла [5].

В качестве примера, рассмотрим группу специальностей экономической направленности, учреждения образования «Полесский государственный университет», в состав которой входят следующие специальности: экономика и управление (sp_1); бизнес-администрирование (sp_2); менеджмент (sp_3); маркетинг (sp_4); экономика (sp_5); финансы и кредит (sp_6); бухгалтерский учет, анализ и аудит (sp_7).

Оптимизация набора специальностей методом Кемени-Снелла

Абитуриент формирует набор специальностей, ранжируя их по важности: 1 – самая важная, 2 – менее важная и т. д. (таблица 2). Абитуриент может выбрать любое количество специальностей в рамках выбранной группы.

Скорректируем исходный набор (сформированный абитуриентом) с учетом проходных баллов прошлых лет и набранных абитуриентом баллов на вступительных испытаниях. Проходные баллы за предшествующий пятилетний период представлены в таблице 3.

Таблица 2. Набор специальностей, сформированный абитуриентом (на основе предпочтений)

№ п/п	Специальность	Условное обозначение специальности	Приоритет
1	Экономика и управление	sp_1	4
2	Бизнес-администрирование	sp_2	2
3	Менеджмент	sp_3	1
4	Маркетинг	sp_4	3
5	Экономика	sp_5	6
6	Финансы и кредит	sp_6	5
7	Бухгалтерский учет, анализ и аудит	sp_7	7

Предположим, что абитуриент набрал 283 балла, тогда доступный набор специальностей (с учетом проходных и набранных баллов), для каждого предшествующего года представим

в таблице 4. Если специальность не доступна по баллам в текущем году, рангу специальности присваиваем – 0 (специальность исключается из набора).

Таблица 3. Проходные баллы по специальностям за период с 2019 по 2023 гг.

Год проведения ПрК	Специальность / проходной балл						
	sp ₁	sp ₂	sp ₃	sp ₄	sp ₅	sp ₆	sp ₇
2023	276	300	287	308	253	255	255
2022	285	297	294	302	264	256	254
2021	282	293	295	295	270	270	268
2020	268	286	283	282	264	265	264
2019	288	307	319	301	296	283	282

Таблица 4. Доступные специальности и их ранги

Год проведения ПрК	Специальность / приоритет специальности						
	sp ₁	sp ₂	sp ₃	sp ₄	sp ₅	sp ₆	sp ₇
2023	1	0	0	0	3	2	4
2022	0	0	0	0	2	1	3
2021	1	0	0	0	3	2	4
2020	3	0	1	2	5	4	6
2019	0	0	0	0	0	1	2

Алгоритм метода реализуется в следующем порядке.

1. На основе исходной информации о доступных специальностях и их рангах, составляются матрицы бинарных предпочтений абитуриента для каждого анализируемого года приемной кампании (таблицы 5-9) с оценками (1):

$$r_{jk} = \begin{cases} 1, \text{ если } k_i > k_k \\ -1, \text{ если } k_k > k_i \\ 0, \text{ если } k_i \sim k_k \end{cases} \quad (1)$$

где j – год ПрК; i, k – индексы специальностей; $>$ – знак предпочтения; 0 (или прочерк) – специальности сопоставимы или нет информации; $k = 1, \dots, 7$; $i = 1, \dots, 7$; $j = 1, \dots, 5$.

Таблица 5. Результаты бинарных предпочтений абитуриента в 2023 году

2023 г.	sp ₁	sp ₂	sp ₃	sp ₄	sp ₅	sp ₆	sp ₇
sp ₁	-	-1	-1	-1	1	1	1
sp ₂	1	-	-	-	1	1	1
sp ₃	1	-	-	-	1	1	1
sp ₄	1	-	-	-	1	1	1
sp ₅	-1	-1	-1	-1	-	-1	1
sp ₆	-1	-1	-1	-1	1	-	1
sp ₇	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-

Таблица 6. Результаты бинарных предпочтений абитуриента в 2022 году

2022 г.	sp ₁	sp ₂	sp ₃	sp ₄	sp ₅	sp ₆	sp ₇
sp ₁	-	-	-	-	1	1	1
sp ₂	-	-	-	-	1	1	1
sp ₃	-	-	-	-	1	1	1
sp ₄	-	-	-	-	1	1	1
sp ₅	-1	-1	-1	-1	-	-1	1
sp ₆	-1	-1	-1	-1	1	-	1
sp ₇	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-

Таблица 7. Результаты бинарных предпочтений абитуриента в 2021 году

2021 г.	sp ₁	sp ₂	sp ₃	sp ₄	sp ₅	sp ₆	sp ₇
sp ₁	-	-1	-1	-1	1	1	1
sp ₂	1	-	-	-	1	1	1
sp ₃	1	-	-	-	1	1	1
sp ₄	1	-	-	-	1	1	1
sp ₅	-1	-1	-1	-1	-	-1	1
sp ₆	-1	-1	-1	-1	1	-	1
sp ₇	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-

Таблица 8. Результаты бинарных предпочтений абитуриента в 2020 году

2020 г.	sp ₁	sp ₂	sp ₃	sp ₄	sp ₅	sp ₆	sp ₇
sp ₁	-	-1	-1	-1	1	1	1
sp ₂	1	-	1	1	1	1	1
sp ₃	1	-1	-	1	1	1	1
sp ₄	1	-1	-1	-	1	1	1
sp ₅	-1	-1	-1	-1	-	-1	1
sp ₆	-1	-1	-1	-1	1	-	1
sp ₇	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-

Таблица 9. Результаты бинарных предпочтений абитуриента в 2019 году

2019 г.	sp ₁	sp ₂	sp ₃	sp ₄	sp ₅	sp ₆	sp ₇
sp ₁	-	-	-	-	-	1	1
sp ₂	-	-	-	-	-	1	1
sp ₃	-	-	-	-	-	1	1
sp ₄	-	-	-	-	-	1	1
sp ₅	-	-	-	-	-	1	1
sp ₆	-1	-1	-1	-1	-1	-	1
sp ₇	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-

2. На основе матриц бинарных предпочтений абитуриента, рассчитывается матрица потерь (таблица 10) с оценками (2):

$$r_{jk} = \sum_{i=1}^5 |\rho_{jk}^i - 1|, \quad (2)$$

где $j = 1, \dots, 7; k = 1, \dots, 7$.

Каждый элемент матрицы дает групповую оценку потерь j -й специальности относительно k -й. Например, $r_{12} = |-1 - 1| + |-1 - 1| + |-1 - 1| = 6$.

3. Обработка матрицы потерь выполняется в несколько циклов. В каждом цикле для каждой специальности определяется сумма по строке. Специальность с меньшей суммой ставится на первое место (специальность, которой соответствует минимальная сумма, считается лучшей). Строка и столбец этой специальности исключаются из матрицы потерь. Суммирование строк матрицы потерь и исключение специальностей

выполняются до тех пор, пока не будет исключена вся матрица. Первый цикл: $r_1 = 6 + 6 + 6 = 18; r_2 = 0; r_3 = 2; r_4 = 2 + 2 = 4; r_5 = 8 + 8 + 8 + 8 + 8 = 40; r_6 = 10 + 10 + 10 + 10 + 2 = 42; r_7 = 10 + 10 + 10 + 10 + 10 + 10 = 60$. В результате r_2 ставится на первое место, соответствующие ей вторые строка и столбец вычеркиваются. Второй цикл: $r_1 = 6 + 6 = 12; r_3 = 0; r_4 = 2 + 2 = 4; r_5 = 8 + 8 + 8 + 8 = 32; r_6 = 10 + 10 + 10 + 2 = 32; r_7 = 10 + 10 + 10 + 10 + 10 = 50$. В результате r_3 ставится на второе место и т. д.

В результате применения данного алгоритма, получим рекомендацию на текущий год подачи документов – проранжированный набор специальностей, с учетом статистики прошлых лет. В таблице 11 представлены исходный (сформированный абитуриентом на основе предпочтений) и рекомендуемый (скорректированный с учетом возможностей) наборы специальностей.

Таблица 10. Матрица потерь

r_{jk}	sp_1	sp_2	sp_3	sp_4	sp_5	sp_6	sp_7
sp_1	-	6	6	6	0	0	0
sp_2	0	-	0	0	0	0	0
sp_3	0	2	-	0	0	0	0
sp_4	0	2	2	-	0	0	0
sp_5	8	8	8	8	-	8	0
sp_6	10	10	10	10	2	-	0
sp_7	10	10	10	10	10	10	10

Таблица 11. Исходный и рекомендуемый наборы с рангами специальностей

Набор специальностей	Специальность / приоритет специальности						
	sp_1	sp_2	sp_3	sp_4	sp_5	sp_6	sp_7
исходный	4	2	1	3	6	5	7
рекомендуемый	4	1	2	3	6	5	7

Заключение

Наличие соответствующей рекомендации, в виде оптимизированного набора проранжированных специальностей с учетом не только предпочтений абитуриента, но и его возможностей, позволит повысить обоснованность решений принимаемых абитуриентами при выборе специальностей и, следовательно, уровень их удовлетворенности результатами конкурсного отбора.

Оптимизированная, таким образом, система отбора с общим конкурсом по группам специальностей, которой на протяжении ряда лет пользуются белорусские вузы, в комплексе с олимпиадной и целевой, будут способствовать решению проблем высших учебных заведений связанных с набором студентов на первый курс, обеспечивая отбор наиболее подготовленных и мотивированных абитуриентов, выполнение контрольных цифр приема.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кисель, Т.В. Особенности организации приемной кампании в ВУЗах ряда стран СНГ / Т.В. Кисель // Информационные технологии и системы 2021: материалы международной научной конференции, Минск, 24 ноября 2021 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л.Ю. Шилин [и др.]. – Минск: БГУИР, 2021. – С. 38–39.
2. Нестеров, А.С. Система приема в вузы: проблемы и решение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stratpro.hse.ru/mirror/pubs/share/804843139.pdf> / – Дата доступа: 19.09.2024.
3. Правила приема лиц для получения общего высшего и специального высшего образования: указ Президента Республики Беларусь от 27.01.2022 № 23 (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 03.01.2023 N 2). – Минск, 2023. – 46 с.
4. Кисель, Т.В. Организация конкурсного отбора по объединенным группам специальностей / Т.В. Кисель // Инжиниринг: теория и практика современного мира: монография / Министерство образования Республики Беларусь, УО «Полесский государственный университет»; под ред. В.И. Дуная. – Пинск: ПолесГУ, 2022. – Раздел 1, глава 1.3. – С. 18–22.
5. Смородинский, С.С. Системный анализ и исследование операций: лабораторный практикум для студентов спец. «Автоматизированные системы обработки информации» дневной и дистанционной форм обучения / С.С. Смородинский, Н.В. Батин. – Минск: БГУИР – Минск, 2009. – 64 с.

REFERENCES

1. Kisel, T.V. Features of organizing the admissions campaign in universities in a number of CIS countries / T.V. Kisel // Information technologies and systems 2021: materials of the international scientific conference, Minsk, November 24, 2021 / Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics; editorial board: L.Yu. Shilin [and others]. Minsk: BSUIR, 2021, pp. 38-39.

2. **Nesterov, A.S.** University admission system: problems and solutions [Electronic resource]. - Access mode: <https://stratpro.hse.ru/mirror/pubs/share/804843139.pdf> / - Access date: 19.09.2024.

3. **Rules for admitting persons to receive general higher and special higher education:** Decree of the President of the Republic of Belarus dated January 27, 2022 No. 23 (as amended by Decree of the President of the Republic of Belarus dated January 3, 2023 No. 2). – Minsk, 2023. – 46.

4. **Kisel, T.V.** Organization of competitive selection for combined groups of specialties / T.V. Kisel // Engineering: theory and practice of the modern world: monograph / Ministry of Education of the Republic of Belarus, Polesie State University; edited by IN AND. Danube. Pinsk: PolesGU, 2022. - Section 1, chapter 1.3, pp. 18-22.

5. **Smorodinsky, S.S.** System analysis and operations research: laboratory workshop for special students. “Automated information processing systems” for full-time and distance learning / S.S. Smorodinsky, N.V. Batin. – Minsk: BSUIR, 2009, 64 p.

KISEL T.V.

OPTIMIZATION OF COMPETITIVE SELECTION MODELS OF APPLICANTS

*Polessky state university
Pinsk, Republic of Belarus*

The subject of research is the use of blockchain technology in IT medicine. The purpose of the article is to analyze the use of blockchain technology in IT medicine, analyze its use in the world, and propose models: the directions of blockchain in medicine and electronic marketing. The main directions of using blockchain technology in medicine are considered, the application and prospects of using blockchain in medical institutions of Russia and developed countries of the world are determined. The analysis of various projects is carried out. Blockchain technologies allow you to transfer work to a digital medium, digitize all data and work with all documents within a large global information system. Advantages: decentralization, personal ownership of medical data, accessibility and reliability, transparency and trust, verifiability of data. A model of information management in IT medicine using blockchain has been developed, including the management of electronic medical records; drug supply chain management and anti-counterfeiting; analysis of medical data; conducting clinical and biomedical research; remote monitoring of patients. The structure of Internet marketing has been developed on the basis of a distributed system using a portal of subsystems for the supply and distribution of medicines to meet the needs of patients for various medical institutions of the Republic of Belarus, with the support of intelligent agents and blockchain technologies.

Keywords: *blockchain networks, IT-medicine, projects analysis, blockchain model in medicine, Internet marketing in pharmacology*



Кисель Татьяна Васильевна, аспирант кафедры электронных вычислительных машин Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, старший преподаватель кафедры информационных технологий и интеллектуальных систем Полесского государственного университета. Область научных интересов связана с оптимизацией приемной кампании вуза.

Kisel T.V., Postgraduate at the Department of Electronic Computers of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Senior Lecturer at the Department of Information Technologies and Intelligent Systems, Polessky State University. The area of scientific interests is related to the optimization of the university admissions campaign.

E-mail: kisel_t@mail.ru

О ЖУРНАЛЕ

Международный научно-технический журнал «Системный анализ и прикладная информатика» издается 4 раза в год, на русском и английском языке. Распространяется на территории Беларуси, России и странах СНГ. В журнале публикуются статьи по системному анализу, программному обеспечению информационных технологий, хранению и обработке данных, защите информации, применению информационных технологий в образовательном процессе.

Журнал «Системный анализ и прикладная информатика» является отличной площадкой для продвижения результатов научных исследований не только известных, но и начинающих исследователей. Журнал включен в крупнейшие базы данных научного цитирования РИНЦ, eLIBRARY.RU, ЭБС «Лань», Google Scholar, НЭБ «КиберЛенинка», EBSCO, BASE Search, OpenAIRE, WorldCat, OpenDOAR, ROAR которые признаны авторитетными для мирового научного сообщества.

Подписаться на журнал можно через подписные каталоги:
РУП «Белпочта», ООО «Прессинформ», ООО «Кризис Сервис Бэнд»,
ООО «Екатеринбург-Опт», ООО «Глобалпресс»

Подписной индекс журнала «Системный анализ и прикладная информатика»:
Ведомственный - 013902 Индивидуальный - 01390

Также предлагаем услуги по размещению рекламы в журнале «Системный анализ и прикладная информатика»

Вид рекламного модуля	Для Республики Беларусь Стоимость в бел. руб. с НДС	Для стран СНГ Стоимость в рос. руб.
На обложке (стр.2,3) полноцветный	689,88	26975
Внутри журнала (формат 1/1), полноцветный	536,49	20950
Внутри журнала (формат 1/2), полноцветный	263,27	11235
Внутри журнала (формат 1/1), черно-белый	363,10	11235
Внутри журнала (формат 1/2), черно-белый	181,56	5390

Размещение рекламы в очередном номере осуществляется
после предварительной оплаты Заказчиком
Информацию для рекламодателей можно получить по тел. (+375) 44 566 47 88,
e-mail: l.katkova@bntu.by

Адрес и телефоны редакции:
Республика Беларусь: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65
тел. (+375) 17 266 29 58
www.sapi.bntu.by e-mail: ca_pi@bntu.by
