



Co-funded by the
European Union

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки
кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
Харківський національний університет міського господарства
імені О.М. Бекетова
Братиславський університет економіки та менеджменту
Громадська організація «Перспектива»
Угорський університет сільського господарства та природничих наук

МАТЕРІАЛИ

I International Conference

**«Sustainable smart cities and communities:
business and innovation solutions»**

**(Сталі розумні міста та спільноти:
бізнес та інноваційні рішення)**

SSC&C2025

21 квітня 2025

[електронне видання]

Харків 2025

Рекомендовано рішенням Вченої ради
факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол № 4 від 18.04.2025

Сталі розумні міста та спільноти: бізнес та інноваційні рішення 2025: матеріали I-ої Міжнародної конференції, Харків, 21 квітня 2025.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2025. – 68 с.

У збірник включені тези доповідей, які присвячені сучасним цифровим технологіям та автоматизації для сталого розвитку розумних міст; роботизованим системам та автономним технологіям у міському середовищі; циркулярної економіки та зеленої енергетики в автоматизованих системах; розумні транспортні системи та мобільність майбутнього; кіберфізичні системи та безпека даних у міській автоматизації; НМІ та цифрові платформи для інтеграції міських послуг; автоматизація промисловості та міської інфраструктури: виклики та рішення ресурсоефективності.

Редакційна колегія: І.Ш. Невлюдов, І.В.Колупаєва, Ю.В.Ромашов В.В. Євсєєв.

Sustainable smart cities and communities: business and innovation solutions 2025: Proceedings of I st I International Conference, Kharkiv, April 21, 2025: Theses of Reports / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] .- Kharkiv .: [electronic version], 2025. - 68 p.

The collection includes abstracts of reports dedicated to modern digital technologies and automation for the sustainable development of smart cities; robotic systems and autonomous technologies in the urban environment; circular economy and green energy in automated systems; smart transport systems and mobility of the future; cyber-physical systems and data security in urban automation; HMI and digital platforms for the integration of urban services; automation of industry and urban infrastructure: challenges and solutions for resource efficiency.

Editorial board: Igor Nevlyudov, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov, Vladyslav Yevsieiev

Результати наукових досліджень, що представлені у збірнику, виконані в межах реалізації міжнародного проєкту Еразмус+ Жан Моне Модуль «Україна-ЄС: рішення циклічної економіки для розумних та сталих міст» («Ukraine-EU: Circular Economy Solutions 4 Smart and Sustainable Cities (Eco4Smart)») – # 101127659

Матеріали в збірнику друкуються мовою оригіналу в редакції авторів.

КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова комітету конференції	Ігор Шакирович Невлюдов , доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна
Заступник голови комітету конференції	Юрій Ромашов , доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна
Секретар конференції	Владислав Євсєєв , доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна
Редакційна колегія:	Michal Fabuš , Vice-rector for Foreign Affairs, PhD, Bratislava University of Economics and Management, Slovakia Boguslaw Blicharski , Chairman of the Audit Commission NGO «Perspektyva», Poland Лазло Вертеші , Dr. habil, PhD з економічних наук, PhD з юридичних наук, завідувач кафедри економіки та природних ресурсів Угорського університету сільського господарства та природничих наук, Угорщина Іван Мовчан , директор, приватне підприємство "Науково-Виробнича Фірма "Українська Вагова Компанія", Україна Лідія Піддубна , кандидат філософських наук, доцент, доцентка кафедри Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, заступниця директора навчально-наукового інституту енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна Роман Артюх , кандидат технічних наук, доцент, директор ДП «Південний державний проектно-конструкторський інститут авіаційної промисловості», Україна; Іріна Колупаєва , доктор економічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна Наталія Фурманова , кандидат технічних наук, доцент, декан факультета Радіоелектроніки і телекомунікацій, Національного університету «Запорізька політехніка», Україна Денис Мосьпан , кандидат технічних наук, доцент кафедри «Комп'ютерної інженерії та електроніки» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, Україна Анатолій Андрусевич , доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету, Україна

Наталія Демська, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна

ЗМІСТ

<i>Vladyslav Yevsieiev</i> Mobile robots and autonomous vehicles in the mobility as a service (MAAS) concept	7
<i>Svitlana Starykova</i> Automation of urban infrastructure based on predictive maintenance and IoT	9
<i>Oleksii Fomin</i> Development of an automated system for the technological processes of a "concrete plant" (a company for the production of construction components)	11
<i>Nazarii Piven</i> Free software as a tool for technological advantage and independence in the digital environment	13
<i>Ігор Голод</i> Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень для оптимізації мікроклімату в промислових умовах	15
<i>Dmytro Gurin</i> Intelligent tracking algorithms in collaborative robotic systems: application of camshift and kalman filter	17
<i>О.О. Гуртовий</i> Аналіз сучасного стану обліку розподілених витрат тепла	20
<i>Valeriia Darahan, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov</i> A general approach to develop digital twins of automation objects for smart cities applications	22
<i>Д. Є. Заяць</i> Розпізнавання жестів і комп'ютерний зір для безконтактного керування пристроями ...	24
<i>Illia Kalashnykov, Iryna Kolupaieva, Yurii Romashov</i> Resistance sensors of angular velocity for research robots to benchmark smart cities applications	26
<i>Irina Kolupaieva, Yurii Romashov, László Vértesy</i> Implementations of circular economy principles for sustainability of laboratories in universities inside smart cities	28
<i>Iryia Kolupaieva, Igor Nevliudov, Yurii Romashov</i> European views on a green automation as a crucial technology for circular economy implementations to smart cities	30
<i>Irina Kolupaieva, Igor Nevliudov, Yurii Romashov</i> European views on an intelligent automation as a crucial technology for circular economy bussines models in smart cities	32
<i>Irina Kolupaieva, Yurii Romashov</i> High-performance computing to research resource and energy efficiencies of automated controls for smart cities applications	34
<i>С. В. Хрустальова, Н. Р. Курбанов</i> Перспективи розвитку альтернативних систем електрогенерації	36
<i>R.V. Marunich, S.V. Sotnik</i> Modern IoT technologies for creating automated access systems	38
<i>В.О. Михайлов, І.В. Білецький</i> Впровадження інноваційних цифрових рішень у інфраструктуру закладів охорони здоров'я	40

<i>К.С. Редькін, Д.А. Янушкевич, Л.С. Іванов</i>	
Механізм дії ризик-орієнтованого мислення у системі управління якістю та безпеки центральних теплових пунктів	43
<i>D.A. Sukhomlina, S.V. Sotnik</i>	
Aerial robot in urban environments	45
<i>Ruslan Faryha, Olena Chala</i>	
The automation system for the production of materials, semi-finished products and finished products in logistics production processes	48
<i>A. O. Fesenko, I. V. Kolupaieva, Yu. V. Romashov</i>	
Mathematical modelling of automation objects through parametric identification and digital twins	50
<i>Y. I. Khalimonov, S. V. Sotnik</i>	
Circular economy in automated systems	53
<i>Maksym Cherkashyn, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov</i>	
Potentiometer sensors of an angular acceleration for research robots to benchmark smart cities applications	56
<i>A.C. Норков, І.В. Білецький</i>	
Розробка системи комп'ютерного адміністрування виробничого підприємства	59
<i>Artem Shevchenko, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov</i>	
A generalised mathematical model of electricity consumption for electric drives in smart cities applications	62
<i>Matvii Tkalenko, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov</i>	
Circular concepts of research robotics for small scale benchmarks in automation engineering of smart cities	65

MOBILE ROBOTS AND AUTONOMOUS VEHICLES IN THE MOBILITY AS A SERVICE (MAAS) CONCEPT

Vladyslav Yevsieiev

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: vladyslav.yevsieiev@nure.ua

Annotation: The development of autonomous vehicles and mobile robots plays a key role in the concept of Mobility as a Service (MaaS), which aims to integrate various transport solutions into a single digital ecosystem. The use of artificial intelligence, the Internet of Things (IoT) and cyber-physical systems allows for effective urban transport management, congestion reduction and resource optimization. The article examines the technological aspects of the development of autonomous mobile systems within MaaS, their advantages and implementation challenges. The impact of autonomous transport on the sustainability of urban ecosystems, environmental aspects and prospects for integration into modern cities are analyzed.

Keywords: mobile robots, autonomous vehicles, Mobility as a Service, urban mobility, artificial intelligence, transport automation.

Modern urban processes require radical changes in approaches to the organization of transport infrastructure. The growth of the number of vehicles leads to environmental problems, congestion and inefficient use of resources. In this context, the concept of Mobility as a Service (MaaS) acquires particular importance, as it involves the integration of various transport solutions into a single platform based on digital technologies. The development of mobile robots and autonomous vehicles allows to significantly increase the efficiency of urban mobility, reduce the impact of the human factor on road safety and reduce CO₂ emissions. The introduction of cyber-physical systems and artificial intelligence in the transport sector opens up opportunities for the creation of intelligent routes, adaptive control systems and decentralized flow management. In addition, autonomous vehicles can be integrated with environmentally friendly energy sources, which contributes to the development of sustainable transport. The paper considers technological approaches to the implementation of MaaS, the challenges of introducing autonomous transport in urban conditions and the prospects for the development of this concept.

Mobility as a Service (MaaS) is a modern concept that involves the integration of various modes of transport into a single digital platform to ensure continuous and efficient mobility. The key element of such an ecosystem are autonomous vehicles (AVs) and mobile robots that are capable of independently performing the functions of transporting passengers and goods. Innovative solutions such as machine learning, cloud computing and blockchain allow for the creation of smart transport networks that adapt to the current needs of users.

One of the main advantages of using AVs in MaaS is the reduction of transport costs and improvement of the accessibility of public transport. Autonomous vehicles can operate on-demand, that is, at the request of users, which allows to significantly reduce the number of private cars and optimize the use of road infrastructure. In addition, thanks to demand forecasting systems and Big Data analysis, MaaS can effectively manage transport flows, preventing congestion and ensuring rational allocation of resources.

Mobile robots that perform the functions of autonomous delivery of goods are also an important component of MaaS. Such solutions are actively used in the field of logistics, for example, for the delivery of food, medicines or goods within the city. The use of robotic platforms for transporting goods allows you to reduce logistics costs, increase delivery speed and minimize the impact of the human factor. In addition, autonomous mobile robots can be integrated with urban infrastructure systems, including road markings, smart traffic lights and traffic control systems.

Despite the significant potential of ATR and mobile robots in MaaS, there are certain challenges to their implementation. In particular, it is necessary to ensure the reliability and safety of autonomous systems, develop effective decision-making algorithms in complex situations, and also take into account the legal and ethical aspects of the operation of such technologies. An additional important problem is standardization and interaction between various participants in the MaaS ecosystem, since for effective functioning it is necessary to ensure the compatibility of digital platforms, sensors and communication protocols.

The prospects for the development of MaaS in combination with autonomous transport include the widespread use of V2X (Vehicle-to-Everything) technologies, which allow ATC to interact with each other and with the infrastructure. This contributes to increasing road safety, minimizing accidents and reducing delays in traffic flows. In addition, the development of alternative energy sources for autonomous transport, such as hydrogen energy and new generation battery systems, can significantly increase the environmental efficiency of MaaS solutions.

CONCLUSIONS. The concept of Mobility as a Service is a promising direction for the development of urban transport, combining autonomous vehicles, mobile robots and digital platforms to ensure sustainable mobility. The use of ATC in MaaS contributes to the optimization of urban transport flows, reducing congestion and reducing the environmental load. At the same time, the integration of mobile robots into logistics processes allows to increase the efficiency of goods delivery and reduce operating costs. Despite numerous advantages, the implementation of MaaS faces technical, regulatory and security challenges that require further research and development of innovative solutions. Further development of V2X technologies, artificial intelligence and renewable energy sources will contribute to the widespread implementation of MaaS in smart cities of the future.

LITERATURE

1. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 3046116.
2. Automated Monitoring and Visualization System in Production / V. Lyashenko, Abu-Jassar Amer Tahseen, V. Yevsieiev, S. Maksymova // *Int. Res. J. Multidiscip. Technovation*, 5(6), 09-18.
3. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // *Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.*
4. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.
5. Yevsieiev V. Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / V. Yevsieiev, N. Starodubcev // *Science in Environment of Rapid Changes : proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference, Brussels, Belgium, February 6-8, 2023. - Brussels : De Boeck, 2023. - Scientific Collection «InterConf» . - № 141. - P. 331-334.*
6. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.

AUTOMATION OF URBAN INFRASTRUCTURE BASED ON PREDICTIVE MAINTENANCE AND IoT

Svitlana Starykova

Kharkiv lyceum 178

Ukraine, 61105 Kharkiv, Monushka str., 1

E-mail: svetlanastarykova@gmail.com

Abstract: Modern cities face challenges related to the operation and maintenance of critical infrastructure, including transport networks, energy systems and water supply facilities. The use of Predictive Maintenance technologies in combination with the Internet of Things (IoT) allows ensuring the uninterrupted operation of urban systems, increasing resource efficiency and reducing repair and maintenance costs. The article discusses the concept of Predictive Maintenance for urban infrastructure, the principles of its implementation and the impact on the sustainability of urban development.

Keywords: Predictive Maintenance, IoT, urban infrastructure, automation, Smart City, digital transformation.

With the development of the concept of "smart cities", the automation of urban infrastructure is gaining particular importance, which contributes to the efficient use of resources and an increase in the level of comfort of residents. Traditional methods of servicing urban systems are often reactive, which leads to unplanned downtime, significant financial costs and even threats to public safety. The use of Predictive Maintenance allows you to monitor the condition of urban facilities in real time, predict possible malfunctions and prevent their occurrence. Combining this technology with IoT provides flexibility in management and integration of various urban services into a single digital ecosystem. In the context of growing urbanization and the need to reduce the negative impact on the environment, automated infrastructure management is becoming a key factor in sustainable urban development.

Predictive Maintenance technology is based on the use of IoT sensor networks to collect data on the condition of urban facilities and the application of machine learning and artificial intelligence algorithms to analyze the information obtained. In urban infrastructure, this concept can be applied in various areas, including the management of transport networks, monitoring the condition of road surfaces, optimizing the operation of lighting systems and energy supply.

One of the key elements of the implementation of Predictive Maintenance is the integration of sensors and IoT devices into critical infrastructure facilities. For example, smart sensors in water supply systems can monitor pressure, leaks and water pollution levels, transmitting this data to a single control center. Similarly, in transport infrastructure, sensors placed on roads and bridges can monitor vibrations, loads and the level of wear of the surface, allowing to prevent emergencies and carry out maintenance in advance.

The use of IoT in Predictive Maintenance involves the use of analytical platforms that process large amounts of data and perform automatic analysis of trends and patterns. For example, artificial intelligence systems can predict the probability of elevator failure in multi-story buildings or detect overloads in power supply systems. This allows utilities to quickly respond to potential problems, reducing the cost of emergency repairs and increasing the reliability of urban systems.

One of the advantages of Predictive Maintenance is the reduction of the human factor in infrastructure maintenance. Automated systems can operate continuously, monitoring and controlling the condition of objects in real time. This allows not only to optimize maintenance costs, but also to reduce the negative impact of urban infrastructure on the environment. For example, effective management of urban power grids helps reduce energy consumption, and timely maintenance of sewage systems helps prevent water pollution.

However, the widespread implementation of Predictive Maintenance requires addressing a number of technical and organizational issues. The main challenges include security and data protection, as attackers may try to gain access to critical city systems. Also important are issues of technology compatibility, standardization of data exchange protocols, and the economic feasibility of integrating IoT solutions into existing city infrastructure.

CONCLUSIONS. Automation of urban infrastructure based on Predictive Maintenance and IoT is a promising direction for the development of smart cities. The use of advanced technologies for analyzing and predicting the state of critical urban facilities allows to increase the efficiency of resource management, minimize emergency situations and improve the quality of life of residents. Despite a number of challenges associated with the implementation of these technologies, the advantages of their use are obvious. Further research in the field of Predictive Maintenance will allow to improve forecasting algorithms, ensure a high level of reliability of urban systems and contribute to the sustainable development of modern megacities.

LITERATURE

1. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 3046116.
2. Automated Monitoring and Visualization System in Production / V. Lyashenko, Abu-Jassar Amer Tahseen, V. Yevsieiev, S. Maksymova // *Int. Res. J. Multidiscip. Technovation*, 5(6), 09-18.
3. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // *Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.*
4. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.
5. Yevsieiev V. Development of a program for modeling the control of a mobile manipulation robot in the unity environment / V. Yevsieiev, N. Starodubcev // *Science in Environment of Rapid Changes : proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference, Brussels, Belgium, February 6-8, 2023. - Brussels : De Boeck, 2023. - Scientific Collection «InterConf» . - № 141. - P. 331-334.*
6. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Yevsieiev, V., Amer, A., Demska, N., Luhach, A. K., & Lyashenko, V. (2022). Electronic user authentication key for access to HMI/SCADA via unsecured internet networks. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 5866922.
7. Gurin, D., & et al. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
8. Yevsieiev, V., & et al. (2025). Development of a program for processing 3d models of objects in a collaborative robot workspace using an HD camera. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 194-210.
9. Gurin, D., & et al. (2024). Effect of Frame Processing Frequency on Object Identification Using MobileNetV2 Neural Network for a Mobile Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 36-44.
10. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF A "CONCRETE PLANT" (A COMPANY FOR THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION COMPONENTS).

Oleksii Fomin

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: oleksii.fomin@nure.ua

Annotation: This work presents the development of an automated system for a concrete plant, which includes the development of control system software to optimize the processes of mixing, transportation, and storage of concrete mixtures. The effectiveness of the proposed system has been studied and analyzed in terms of quality control of technological processes, reporting on the operations of concrete mixers, and calculating the materials used. The results obtained can be useful for engineers and developers in the field of production process automation.

Key words: Automated system, software, concrete plant server, control system, process optimization, quality control, reporting, concrete mixer, production materials, automation.

In the current conditions of industrial development, automation of technological processes has become one of the key factors in improving production efficiency and reducing costs. Concrete plants, which specialize in the production of various types of concrete mixtures, constantly face numerous challenges related to optimizing production processes, ensuring high product quality, and reducing resource consumption. This includes issues related to equipment management, material and product quality control, as well as the efficient use of energy and labor resources. Automation of technological processes at a concrete plant is an important step not only for increasing overall production productivity but also for achieving significant reductions in energy costs and labor intensity, which in turn helps to substantially lower the cost of the finished product. Furthermore, an automated system allows for detailed control over material usage throughout the entire production cycle—from the manufacturing stage to the storage and delivery of finished mixtures to end consumers.

The project was implemented using a number of advanced technologies, including PHP, React.js, Python, and MySQL. PHP handles the server-side part of the system, request processing, and interaction with the database. React.js is used to create an interactive user interface that ensures fast and convenient interaction with the web application. Python is responsible for acting as an intermediary between the server and the control panel, forming statuses, ttns, and so on. MySQL is used to store and manipulate data, providing a reliable and scalable database for storing all necessary information. The MQTT protocol is used to ensure secure and fast communication between systems, especially for interacting with control panels and other devices in real time.

An important element of the project is the use of advanced visualization technologies that allow the creation of dynamic and interactive graphical interfaces. These technologies make it possible to effectively display data, providing users with clear and understandable representations of information in the form of graphs, charts, and other visual information, which helps in decision-making and process optimization.

The development of an automated system for the concrete plant will include the creation of software for quality control, raw material usage, and reporting. By implementing such innovative approaches, production will not only be faster and more productive but also capable of providing accurate reports on the materials used, the status of the automated mixers, and the quality level of the product at each stage of production. The main goal of this qualification work is to develop a system that ensures effective control over the quality of technological processes at the plant, automates the storage of data on the materials used, and allows for the rapid generation of reports on the operation of technological equipment, significantly simplifying managerial tasks.

Additionally, the implementation of this automated system will enable the integration of real-time data analysis and predictive maintenance. By constantly monitoring the performance of equipment and material consumption, the system will be able to predict potential malfunctions or inefficiencies before they occur, allowing for proactive interventions. This predictive approach will not only prevent downtime but also extend the lifespan of the plant's equipment. Moreover, the integration of data analytics will provide valuable insights into production trends, enabling management to make informed decisions that further optimize processes and reduce costs. This holistic approach to automation will ensure that the plant remains competitive and capable of meeting increasing demands while maintaining high operational standards.

Thus, the development of an automated system for technological processes at a concrete plant is an extremely important and relevant task that contributes to improving production efficiency, enhancing product quality, and significantly reducing costs at all stages of the production cycle. The implementation of such technologies will have a major impact on optimizing all processes, making production more flexible and stable. This will be an important step towards modernizing concrete plants and significantly improving their competitiveness in the market, allowing companies to adapt to changes in the external environment and market demands, increasing their resilience to economic fluctuations and technological challenges.

CONCLUSIONS. Automation of concrete plant processes increases efficiency, reduces costs, and ensures quality control. Implementing a management system optimizes production and material accounting, contributing to cost reduction and productivity growth.

References:

1. "Automation and Computer-Integrated Technologies" of the Educational Program "Automation and Computer-Integrated Technologies": Textbook / I. Sh. Nevlyudov, O. I. Filipenko, O. V. Tokarieva, S. P. Novoselov, O. V. Sychova. Kharkiv: Ivanchenko I. S. Publishing House, 2023. – 151 pages.

2. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH55132.2022.10002906.

3. Methodical Guidelines for Practical Classes and Independent Work in the Discipline "Business Process Automation" for Students of All Forms of Study in the Specialty 151 – Automation and Computer-Integrated Technologies Educational Program / compiled by: Sh. A. Omarov, N. V. Kosenko, A. I. Kolomiyets; Ministry of Education and Science of Ukraine, KhNURE. – Kharkiv: KhNURE, 2020. – 24 p. – 1.70.

4. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 3046116.

5. Kateryna Nimets1, ., Amer Abu-Jassar2, ., Svitlana Maksymova1, ., & Vladyslav Yevsieiev, . (2025). A SMALL-SIZED MOBILE ROBOT DEVELOPMENT . *ACUMEN: International Journal of Multidisciplinary Research*, 2(3), 12–25. Retrieved from <https://inlibrary.uz/index.php/aijmr/article/view/72290>

6. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.

7. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Demska, N. (2025). Development of a model for recognizing various objects and tools in a collaborative robot workspace. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 224-239.

FREE SOFTWARE AS A TOOL FOR TECHNOLOGICAL ADVANTAGE AND INDEPENDENCE IN THE DIGITAL ENVIRONMENT

Nazarii Piven

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: nazarii.piven@nure.ua

Annotation: The paper examines the current issues of using non-commercial software as a tool for technological advantage and ensuring independence in the digital environment. An analysis of existing development environments, their effectiveness, relevance and application features, and a comparative analysis of their advantages and disadvantages are conducted.

Keywords: free software, development, automation, technological independence

The modern development of automated process control systems requires high-performance computing using open compilers and integrated development environments. Open software tools allow you to avoid licensing restrictions, reduce the costs of implementing new technologies, and ensure technological independence.

Using commercial development environments is often associated with significant financial costs, vendor lock-in, and limited customization. In contrast, free IDEs such as Code::Blocks, Eclipse, Visual Studio Code, and Geany offer a wide range of tools for programming, testing, and debugging without the need to purchase expensive licenses.

The purpose of the work is to study existing open development environments and analyze their effectiveness in the field of HPC for automated systems within the framework of the "smart city" concept.

The research was conducted by conducting a comparative analysis of development environments in terms of performance, integration capabilities, and flexibility for learning and development. The study includes an analysis of IDE functionality and their extensibility using plugins.

Based on the analysis, the main characteristics of the development environments were determined (Table 1).

Table 1 – Comparative characteristics of development environments.

Characteristic	Code::Blocks	Eclipse	VS Code	Geany	Visual Studio (комерційне)	JetBrains IntelliJ IDEA (комерційне)
License	Free	Free	Free	Free	Paid	Paid
Programming languages	C/C++	Java, C++, Python	JavaScript, Python, C++	C, C++, Python	C#, C++, Python	Java, Kotlin, Python
Productivity	Low	High	Middle	Low	High	High
Integration with version control systems	Limited	Built-in	Built-in	Low	Built-in	Built-in
Extension possibilities	Limited	Wide	Wide	Limited	Wide	Wide
Price	Free	Free	Free	Free	From \$45/mn	From \$149/an
Owner dependency	None	None	Partly	None	Full	Full

A comparison of existing solutions was also conducted, the results are recorded in Table 2.

Table 2 – Comparative analysis of existing solutions.

Characteristic	Free IDE (Eclipse, VS Code)	Commercial IDE (VS,IJ)
Price	Free	From \$100/an
Flexibility	Open source, modifications	Limited extention
Functionality	Large set of plugins, limitations	Premium tools, integration with CI/CD
Performance	Lighter, faster, more productive	Performance-dependent
Support	Developer community, forums	Official technical support
Dependency	Complete independence	Owner dependency

The result of the comparison of existing commercial solutions is recorded in Table 3.

Table 3 – Comparison of commercial solutions

Name	Owner	Languages	Price 2024
VS	Microsoft	C#, C++, Python, JS	\$45-\$250/monthly (Pro, Enterprise)
IJ	JetBrains	Java, Kotlin, Python, JS	\$249/ann (Personal), \$599/ann(Enterprise)
PyCharm	JetBrains	Python	\$99/year (Personal), \$249/year (Enterprise)
CLion	JetBrains	C, C++	\$199/ann (Personal), \$549/ann (Enterprise)
MATLAB	MathWorks	MATLAB	\$860 base version + supplements

CONCLUSIONS: The results of the study confirm that the use of free IDEs is an effective solution for developing automated systems in smart cities, as they provide high performance, scalability, and vendor independence.

The results obtained can be used to select the optimal development environment in educational institutions and research projects related to the automation of technological processes.

References:

1. Van Rejsvud V., de Yager A. Vilne ta vidkryte prohramne zabezpechennya dlya rozvytku // arXiv preprint arXiv:0808.3717. (2008). <https://arxiv.org/abs/0808.3717>.
2. Stallman R. Vilne prohramne zabezpechennya, vilne suspilstvo. Vybrani ese / Per. z anhl. – K.: Fond Vidkryte suspilstvo, (2014). – 240 s.
3. Lupak R. L., Vasylytsiv T. H. Konkurentospromozhnist pidpryyemstva: navch. posib. Lviv: Vydavnytstvo LKA, (2016). 484 s.
4. KКУ. St. 176. Porushennya avtors'koho prava ta sumizhnykh prav, (2025), <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#n1785>.
5. Linfo.org. EULA. (2025), <https://www.linfo.org/eula.html>.
6. JetBrains. Official site(2025), <https://www.jetbrains.com>.
7. MathWorks. Official site (2025), <https://www.mathworks.com>.
8. Lumen Database. Piracy (2025), <https://lumendatabase.org/topics/11>.
9. Code::Blocks Team. Code::Blocks. (2025), <https://www.codeblocks.org/>.
10. ISO C++ Foundation. (2025), <https://isocpp.org/>.
11. Amazon Web Services. What is an IDE?(2025), <https://aws.amazon.com/what-is/ide/>.
12. Eclipse Foundation. Eclipse IDE (2025), <https://eclipseide.org/>.
13. Microsoft. Visual Studio Code (2025), <https://code.visualstudio.com/>.
14. Geany. Geany (2025), <https://www.geany.org/>.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ МІКРОКЛІМАТУ В ПРОМИСЛОВИХ УМОВАХ

Ігор Голод

Харківський національний університет радіоелектроніки,

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: igor.holod@nure.ua

Анотація: У роботі розглядаються інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень (ІСПР) для оптимізації мікроклімату в промислових умовах. Описано основні компоненти ІСПР, зокрема експертні системи, нейронні мережі, алгоритми оптимізації та моделі прогнозування, а також їх застосування в управлінні параметрами температури та вологості. Особлива увага приділена інтеграції IoT технологій для моніторингу та коригування мікроклімату в реальному часі, що сприяє підвищенню енергоефективності та стабільності виробничих процесів. Обговорюються методи реалізації таких систем з урахуванням специфічних умов кожного підприємства, а також важливість кібербезпеки та методологій DevOps і Agile для забезпечення надійності та безперервного розвитку систем.

Ключові слова: Інтелектуальні системи, підтримка прийняття рішень, мікроклімат, IoT.

Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень — це комп'ютерні системи, що використовують методи штучного інтелекту для допомоги людині в процесі прийняття складних рішень, зазвичай у ситуаціях, де потрібно обробляти великі обсяги інформації та враховувати численні змінні фактори. ІСПР здатні аналізувати дані, прогнозувати наслідки можливих рішень та надавати рекомендації або навіть автономно приймати рішення. В таблиці 1.1 описані основні складові ІСПР [1].

Таблиця 1.1 Основні складові ІСПР.

Найменування системи	Опис системи	Підхід	Приклад
Експертні системи	Системи, що імітують процес прийняття рішень експертами за допомогою баз знань.	Використовують правила типу "якщо-то", що визначають дії на основі аналізу вхідних даних.	Вирішення завдань керування мікрокліматом за допомогою правил для налаштування температури і вологості на основі зовнішніх факторів.
Нейронні мережі	Математичні моделі, які навчаються на основі даних для виявлення складних закономірностей.	Навчаються на основі історичних даних, коригуючи свої параметри для досягнення точних результатів.	Прогнозування змін температури або вологості в середовищі на основі історичних даних.
Алгоритми оптимізації	Методи для пошуку найкращих варіантів рішення в умовах обмежень і ресурсів.	Використовують методи, такі як лінійне програмування, генетичні алгоритми, для досягнення оптимального рішення.	Пошук оптимальних параметрів температури та вологості для забезпечення енергоефективності при стабільних умовах виробничого процесу.
Моделі прогнозування	Моделі, що використовуються для передбачення майбутніх результатів на основі даних.	Використовують часові ряди та інші статистичні методи для прогнозування на основі історичних даних.	Прогнозування змін температури або вологості в наступні години або дні для коригування управління мікрокліматом.

Реалізація в промислових умовах. Реалізація інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для оптимізації мікроклімату в промислових умовах потребує інтеграції сучасних

технологій, зокрема Інтернету речей (IoT), які активно застосовуються для автоматизації виробничих процесів. Технологія IoT дозволяє підключати до системи численні сенсори та пристрої, що дає змогу здійснювати моніторинг та керування параметрами мікроклімату в реальному часі [2].

Завдяки застосуванню IoT-систем, які включають датчики температури, вологості та інші показники, можливо автоматично коригувати умови навколишнього середовища. Збір та аналіз даних із сенсорів в реальному часі дозволяє виявляти тенденції, що виникають, та оперативно реагувати на зміни. Це сприяє підтримці оптимальних умов для технологічних процесів і знижує енергетичні витрати.

У процесі реалізації ІСПР в промислових умовах важливим є використання методологій, таких як DevOps та Agile, які забезпечують стабільність та ефективність розробки та супроводу таких систем. Методологія DevOps дозволяє автоматизувати процеси доставки та тестування програмного забезпечення, що забезпечує безперервне оновлення системи та зниження ризику збою її роботи. Це є особливо важливим для IoT-систем у промислових умовах, де непередбачувані збої можуть призвести до значних втрат.

Також важливим аспектом є забезпечення кібербезпеки та захисту даних у таких системах. Зростання кількості підключених пристроїв вимагає постійного контролю за безпекою даних, що обробляються. Практики DevOps допомагають інтегрувати оновлення безпеки та захист від кіберзагроз у процеси розробки та експлуатації IoT-систем.

Реалізація таких систем вимагає також постійного моніторингу та супроводу, що забезпечує їх стабільну та ефективну роботу протягом всього циклу життя системи. Інтеграція IoT у промисловість дозволяє не лише оптимізувати виробничі процеси, але й підвищити загальну продуктивність та енергоефективність.

Для успішної реалізації ІСПР в промислових умовах важливо також враховувати специфічні умови кожного підприємства, зокрема різні температурні діапазони та інші фактори, що можуть впливати на мікроклімат. ІСПР можуть здійснювати корекцію параметрів мікроклімату в автоматичному режимі, з урахуванням змін зовнішніх умов, що забезпечує стабільність виробничого процесу та мінімізує ризики [3].

ВИСНОВКИ. ІСПР ефективно оптимізують мікроклімат у промислових умовах, використовуючи технології IoT, нейронні мережі, експертні системи та алгоритми оптимізації для автоматичного коригування параметрів середовища. Це дозволяє покращити енергоефективність, забезпечити стабільність виробничих процесів і знижувати витрати. Врахування специфічних умов кожного підприємства та інтеграція методологій DevOps і Agile сприяють стабільній роботі та безпеці таких систем, що підвищує їх ефективність та надійність у промисловому середовищі.

Список використаних джерел:

1. Собчук А. В., Олімпієва Ю. І. Застосування нейромереж для забезпечення функціонування телекомунікаційних систем // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2020. – № 2 (67). – С. 13-20. – DOI: 10.31673/2412-4338.2020.021328.

2. Невлюдов І. Ш. Технологічне забезпечення якості гнучких комутаційних структур: Монографія І. Ш. Невлюдов, І. В. Боцман, В. В. Невлюдова, Є. А. Разумов-Фризюк. – Кривий ріг : КК НАУ, 2018. – 256 с.

3. Жовнір Ю. І., Грибовський О. М., Орлов М. В., Дуда О. М., Кунанець Н. Е. Методологія розроблення та супроводу інформаційних систем, базованих на технології Інтернету речей // Управління розвитком складних систем. – 2024. – ISSN 2219-5300. – УДК 004.7:004.4:004.8. – DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.56-70. – Національний університет «Львівська політехніка», Львів; Тернопільський технічний університет ім. Івана Пулюя, Тернопіль..

INTELLIGENT TRACKING ALGORITHMS IN COLLABORATIVE ROBOTIC SYSTEMS: APPLICATION OF CAMSHIFT AND KALMAN FILTER

Dmytro Gurin

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: dmytro.gurin@nure.ua

Annotation: In this paper, considers modern approaches to solving the problems of tracking objects in collaborative robotic systems using intelligent algorithms. Special attention is paid to the use of the CAMShift algorithm and the Kalman filter, which are actively used to track the dynamics of object movement in various environments. The principles of operation of both methods, their advantages and disadvantages, as well as the possibilities of integration into collaborative robotics systems are analyzed. The article also contains a comparative table that summarizes the key characteristics of the algorithms and contains reflections on the prospects for their use in real-time conditions.

Key words: Industry 5.0, CAMShift, Kalman filter, cobot

Modern robotics is developing rapidly, and one of the important tasks is to ensure autonomous tracking of objects in a dynamic environment. With the development of collaborative robotic systems, where humans and robots work together, the need for accurate and fast-tracking algorithms is growing, allowing robots to respond in a timely manner to changes in the position of objects and adjust their activities. Among the many proposed methods, the CAMShift algorithm and the Kalman filter stand out. Both methods have their own specific features, which makes them appropriate for different application scenarios.

The purpose of this article is to provide a detailed analysis of the principles of CAMShift and Kalman filter operation, consider their application in collaborative robotic systems, and evaluate their effectiveness in various operating conditions. The discussion will focus on technical aspects that allow us to understand the advantages of each algorithm, as well as possible directions for their further integration into complex automatic control systems.

Intelligent tracking algorithms are an integral part of modern robotic systems, as they enable robots to recognize and track moving objects in real time. Among the numerous approaches to solving this problem, CAMShift and the Kalman filter occupy a special place due to their flexibility and high adaptability.

The CAMShift algorithm is based on the analysis of the color histogram of an object, which allows you to determine its location in the video stream. The main idea of the algorithm is to iteratively search for the center of gravity in the region of interest using the Mean Shift method, after which the size of the region is automatically adjusted according to changes in the object. This approach allows you to effectively track objects that undergo deformations or changes in size, which is important in real-time conditions, when work takes place in an unpredictable environment.

The Kalman filter is a mathematical tool for estimating the state of a system, based on a linear dynamic model. Its application is to predict the future position of an object, taking into account measurements that may contain noise. Due to its recursive nature, the Kalman filter allows for real-time estimations with high accuracy, which makes it indispensable for tasks of automatic control of robot motion in complex operating conditions.

Applications in collaborative robotic systems. Collaborative robotic systems involve close interaction between humans and robots, requiring extremely high accuracy in tracking objects and predicting their motion. In such systems, tracking algorithms are used to control manipulators, coordinate motion, and avoid collisions.

When using CAMShift, the main advantage is the system's ability to adapt to changes in the appearance of the object. For example, when the robot is working in conditions of changing lighting

or in the presence of partial obscurations, CAMShift is able to quickly adjust the size of the region of interest, while maintaining tracking stability. This characteristic is especially important when performing tasks that require high flexibility, such as sorting objects on conveyor lines or in environments with unpredictable changes in parameters.

The Kalman filter, on the other hand, is notable for its ability to predict the trajectory of an object's movement. This allows not only to accurately determine the current position, but also to predict future positions, which is critically important for systems where data processing delay can negatively affect safety and efficiency. For example, in robotic systems operating in a shared space with a human, the ability to predict movement in advance allows you to avoid potential collisions and optimize movement routes.

Comparative analysis of CAMShift and Kalman filter. Both algorithms have their own characteristics that affect their application in different conditions. A comparison of the main characteristics of the algorithms is presented in Table 1.

Table 1 – Main characteristics of the algorithms.

Characteristic	CAMShift	Kalman filter
Working principle	Adaptive color histogram analysis, using the Mean Shift algorithm to determine the center of the object	Recursive system state estimation, forecasting based on linear dynamic model
Flexibility to object changes	High adaptability to changes in object size and shape	Focused on prediction, less adaptive to sudden changes
Noise resistance	Can be sensitive to changes in lighting conditions	High stability thanks to mathematical prediction model
Real-time	Suitable for tasks with high data refresh rates, but may lag under complex conditions	Provides stable real-time operation, even under conditions of high measurement inaccuracy
Resource usage	Relatively easy to implement, does not require much computing power	May require more resources to calculate predictions, especially in the case of nonlinear systems

This table clearly shows that the choice of algorithm depends on the specific requirements of the task. In situations where adaptability to visual changes is important, CAMShift may be preferred. If the main task is accurate trajectory prediction in conditions of high noise level, it is more appropriate to use the Kalman filter.

One of the key trends in modern robotics is the integration of multiple tracking algorithms to achieve greater accuracy and adaptability. The use of a combination of CAMShift and the Kalman filter allows solving typical problems of individual methods. For example, the preliminary estimate of the object position using CAMShift can be corrected using the prediction performed by the Kalman filter. This approach provides both a fast response of the system and its resistance to sudden changes and noise.

In practical applications of these algorithms, parameter settings play an important role. When using CAMShift, it is necessary to take into account the color histogram parameters, as well as environmental conditions, such as lighting and contrast. The Kalman filter requires an accurate definition of the object's motion model, which may include not only linear but also nonlinear aspects. Therefore, the integration of algorithms requires both a preliminary analysis of the system characteristics and a constant adaptation of the algorithms to changes in the working environment.

An important area of research is the application of combined algorithms in real-time. Modern collaborative robotic systems often operate in unpredictable conditions, where every millisecond can be crucial for safety and efficiency. The use of intelligent tracking algorithms makes it possible to

optimize robot movement routes, quickly respond to changes in the situation and ensure high system performance. In practice, this can mean both improved production lines and increased safety in workplaces where people and robots coexist.

Experience in implementing such algorithms in various industries demonstrates that the optimal combination of CAMShift and the Kalman filter helps reduce the number of false positives of the system, and also allows you to reduce the reaction time to changes in the environment. Despite the fact that each of the algorithms has its limitations, their combined use allows you to obtain a more comprehensive solution that can take into account both the visual features of the object and the mathematical model of its movement.

CONCLUSIONS.As a result of the analysis, it can be concluded that the combined use of both algorithms allows to significantly improve the quality of tracking in robotic systems, reducing the number of false positives and optimizing the decision-making process in real time. The integration of these methods into collaborative robotics systems opens up new opportunities for increasing the level of safety, productivity and flexibility of production processes. The use of modern artificial intelligence technologies, combining different approaches to signal processing, allows to create systems that are able to adapt to constantly changing conditions and effectively cooperate with humans.

References:

1. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.
2. Gurin, D., Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Using the Kalman Filter to Represent Probabilistic Models for Determining the Location of a Person in Collaborative Robot Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 66-75.
3. Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). CAMShift Algorithm for Human Tracking in the Collaborative Robot Working Area. *Journal of Universal Science Research*. 2(8). P. 87–101.
4. Yevsieiev, V., Alkhalaileh, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of CyberPhysical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.
5. Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
6. Maksymova, S., & et al. (2024). Comparative Analysis of methods for Predicting the Trajectory of Object Movement in a Collaborative Robot Manipulator Working Area. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(10), 38-48.
7. Lyashenko, V., Kobylin, O., & Ahmad, M. A. (2014). General methodology for implementation of image normalization procedure using its wavelet transform. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3(11), 2870-2877.
8. Yevsieiev, V., & Gurin, D. (2023). Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0 (Doctoral dissertation, European Scientific Platform).
9. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Demska, N. (2025). Development of a model for recognizing various objects and tools in a collaborative robot workspace. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 224-239.

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБЛІКУ РОЗПОДІЛЕНИХ ВИТРАТ ТЕПЛА

О.О. Гуртовий

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14

E-mail: oleh.hurtovyi@nure.ua

Анотація: У цій роботі розглядається поточний стан ЄС з обліком розподілених витрат тепла в багатоквартирних житлових будинках, його вплив на енергозбереження та зниження викидів CO₂, переваги та недоліки різних методів обліку. Проаналізовано сучасні тенденції побудови автоматизованих систем обліку з використанням бездротових технологій обміну даними, пропонуються перспективні напрямки розвитку.

Ключові слова: Алокатор тепла, HCA, АСКО, Wireless-MBus, LoRaWAN.

Згідно з ключовими політичними пріоритетами ООН і Єврокомісії, однією з цілей (Ціль 12 ООН на 2025-2030 рр., пріоритет Єврокомісії на 2024-2029 рр. на побудову чистої промисловості та циркулярної економіки) є забезпечення стійких моделей споживання та виробництва, скорочення споживання невідновлювальних енергоресурсів та зниження забруднення. Нині в Європі на опалення будівель витрачається близько 40% споживання первинної енергії і припадає 36% викидів CO₂. При цьому понад 35% будівель мають вік старше 50 років [1, 2]. Таким чином, підвищення енергоефективності будівель має призвести в країнах ЄС до значного зниження споживання енергії та зменшення обсягів викидів CO₂. Крім впровадження технологій, спрямованих на збереження тепла і мінімізацію тепловіддачі будівлями, одним із пріоритетних напрямків підвищення енергоефективності є впровадження обліку розподілених витрат тепла в багатоквартирних житлових будинках, який базується на оцінці фактичного індивідуального споживання теплової енергії. Цей облік дає змогу оптимізувати управління опаленням, знизити надмірні витрати і зменшити видатки мешканців, стимулюючи їхнє залучення до процесу енергозбереження.

Для обліку розподілу витрат тепла можуть використовуватися як непрямі методи, наприклад засновані на вимірюванні часу ввімкнення кожного опалювального приладу (згідно стандарту Італії UNI/TR 11388), так і прямі, засновані на вимірюванні температури радіатора опалювального приладу або різниці температур радіатора і повітря в приміщенні.

Основним елементом автоматизованих систем контролю та обліку (АСКО) розподілу витрат тепла є алокатор тепла (HCA - heat cost allocator), пристрій, який монтується на радіатор опалювального приладу, в тому числі і на радіатори централізованих систем водяного опалення для реєстрації теплового потоку. Перші алокатори, що масово застосовували в Німеччині з 1920-х, являли собою термодинамічні (випарні) прилади з каліброваною рідиною в капілярній трубці що реєструвала загальну кількість тепла, поглинуту з повітря на додачу до тієї, що виділялася радіатором. Починаючи з 1980-х років широкого застосування набувають електронні алокатори тепла, що мають у своєму складі один (для вимірювання температури радіатора) або два (додатково для вимірювання температури повітря в приміщенні) термодатчики та мікроконтролер для керування вимірюваннями й обчисленнями. Конструкція і принцип роботи цих пристроїв визначається вимогами європейського стандарту EN 834 [3]. Оскільки алокатори монтуються в житлових приміщеннях, то одними з основних вимог до них є мініатюризація і наявність вбудованого джерела живлення (літієва батарея) з мінімальним саморозрядом, що здатний забезпечити тривалий термін служби (від 5 до 10 років), а також забезпечення мінімального енергоспоживання. Для запобігання спробам втрутитися в облік шляхом демонтажу або злому алокатора застосовуються тампери для відстеження цілісності корпусу. Електронні алокатори тепла масово виробляють компанії QUNDIS (4 млн шт. на рік - завод в Ерфурті), Techem, Apator, Zenner, Siemens, Engelman, Danfoss.

Спочатку прилади не мали можливості дистанційного збору даних і передбачали тільки візуальне зчитування результатів вимірювання користувачами, які після цього самостійно передавали дані до розрахункових центрів або до керуючих компаній. Наразі з метою зниження витрат на обслуговування подібні візуальні алокатори також знаходять застосування в низькобюджетних системах обліку.

З розвитком бездротових технологій обміну даними в електронних алокаторах тепла знайшли застосування оптичні та радіо-інтерфейси. В алокаторах з оптичним інтерфейсом дані можуть бути зчитані за допомогою інфрачервоного (ІЧ) адаптера під'єданого до переносного комп'ютера або мобільного пристрою. Подібні пристрої складні в обслуговуванні і створюють незручності мешканцям, оскільки потребують регулярного доступу до квартир кваліфікованого персоналу з обладнанням, тому застосовують їх тільки тоді, коли з якихось причин відсутня можливість передавання даних по радіоканалу.

В алокаторах з радіо-інтерфейсом для передавання даних використовують малопотужні (менше ніж 25 мВт) передавачі, що працюють у неліцензованих діапазонах частот 433/868 МГц (Європа) та 915 МГц (США). Для приймання даних можуть використовуватися стаціонарні вузли (поверхові/під'їзні/будинкові), які або мають канал зв'язку з розрахунковим центром, або з'єдані в мережу під управлінням концентратора, що має вихід в Інтернет, або переносні приймачі зі спрямованими антенами (walk-by системи). Найчастіше для передавання даних використовують інтерфейс Wireless-MBus із підтримкою протоколу Open Metering System (OMS). Рідше використовують пропрієтарні інтерфейси. Незважаючи на широке поширення, в алокаторах не використовуються радіоінтерфейси Bluetooth/BLE (через недостатню дальність зв'язку - до 15 м) і WiFi (через високу енерговитратність).

Наразі поширення набуває інтерфейс LoRaWAN, що забезпечує передачу малопотужним передавачем невеликих обсягів інформації на великі відстані (25 км у прямій видимості або 1-2 км в умовах міської забудови), через що значно знижується потреба в приймальній апаратурі. Також одним із перспективних напрямків є використання меш-мереж, але це потребує подальших досліджень алгоритмів маршрутів зв'язку з урахуванням енергозбереження.

Сучасні дослідження також звертають увагу на використання машинного навчання для розрахунку оптимальних параметрів радіаторів і онлайн-калібрування їхніх теплових моделей на підставі даних, отриманих від алокаторів у реальному часі.

ВИСНОВКИ. Сучасні дослідження в галузі застосування алокаторів тепла відкривають нові горизонти побудови систем автоматичного обліку розподілених витрат тепла. Використання LoRaWAN, застосування просунутих алгоритмів побудови меш-мереж, машинного навчання, енергоємних літєвих вбудованих джерел живлення, зниження енергоспоживання алокаторів, дає змогу значно полегшити імплементацію систем обліку в концепцію Smart City, знизити витрати первинних енергоресурсів на опалення та зменшити викиди CO₂.

ЛІТЕРАТУРА

1. Saba F. et al. (2017) Experimental analysis of a heat cost allocation method for apartment buildings *Buildings*. 2017. Vol. 7(1):20. <https://doi.org/10.3390/buildings7010020>
2. Vandenbogaerde, L., Verbeke, S., & Audenaert, A., (2023). Optimizing building energy consumption in office buildings: A review of building automation and control systems and factors influencing energy savings, *Journal of Building Engineering*, 2023, Vol. 76, Article ID 107233, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107233>
3. DIN EN 834:2017-02. Heat cost allocators for the determination of the consumption of room heating radiators - Appliances with electrical energy supply. Brussels : European Committee for Standardization, 2017. 35 p.

A GENERAL APPROACH TO DEVELOP DIGITAL TWINS OF AUTOMATION OBJECTS FOR SMART CITIES APPLICATIONS

Valeriia Darahan, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: valerija.darahan@nure.ua, iryna.kolupaieva@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The general approach to develop digital twins to represent properties of automation objects with the improved detailing of the inherent processes is proposed for smart cities related applications. This approach is reduced to the mathematical modelling of the processes inherent for the automation object with a given controlling parameter and on the mathematical modelling of the controlled parameter through considering dependencies on the state and controlling parameters. It allows considering different levels of detailing of inherent processes to represent properties of automation objects.

Key words: automation object, digital twin, mathematical modelling, smart sites.

RELEVANCE. Applications of digital twins is the modern way to represent properties of automation object in the most agreement with circular economy principles and trends of the digitalisation of engineering activities. Indeed, the usage of digital twins allows minimising flows of materials through excluding developments of physical models, as well as it allows to research the automation objects of the dangerous operating modes near the states related with high-scale technogenic disasters. Due to these circumstances, applications of digital twins are crucially important for smart cities as the environments to provide the sustainable development and the safety for the societies, so this research is relevant due to the connections with the novel views on the engineering activities related with the EU green and digital transitions for the competitiveness economy achievement [1].

The overview of existing researches like [2] for an example proves that, applications of digital twins can adopt the modern technological achievements to the challenges in efficient governance of the smart cities, but influences of digital twins on urban governance are not fully research at present, so the relevant researches are required. In the research [3] it is shown how the improved mathematical modelling of the automation objects allows to develop the resource efficiency controls for transient modes. The purpose of this research is in general approach to develop digital twins to represent properties of automation objects with the improved detailing of the inherent processes.

RESULTS. An automation object can be imagined as the object defined by the controlled parameter $x = x(t)$ and by the controlling parameter $u = u(t)$, whose are functions of the time t having some dependence, which can be represented through the mapping:

$$u(t) \xrightarrow{\mathcal{M}} x(t), \quad (1)$$

where \mathcal{M} is the mathematical model of the automation object.

The mapping (1) between scalar functions does not limit the generality of the considerations, because this mapping (1) represents the separate automation loop, so that the complicated automation object can be represented by the several such automation loops. The mathematical model \mathcal{M} defining the dependency (1) between the controlled and controlling parameters is the result of the processes inherent for the considered automation object, but it is principally impossible to represent these processes only in the terms of the controlled and controlling parameters. So, to have the detailed representation of the processes inherent for the considered automation object, it is necessary to consider the vector of state parameters representing the state of these processes during the time and to build the differential equations and the necessary initial conditions defining these state parameters for the given controlling parameter:

$$\frac{d\mathbf{q}}{dt} = \dot{\mathbf{q}}(t, \mathbf{q}; u(t)), \quad \mathbf{q}(t_0) = \mathbf{q}_0, \quad (2)$$

where $\mathbf{q} = \mathbf{q}(t)$ is the vector of the state parameters defining the processes inherent for the considered automation object for the given controlling parameter; $\dot{\mathbf{q}}(t, \mathbf{q}; u(t))$ is the built velocities of the changes of the state of the processes in the automation object; t_0 is the given moment of the time assumed as the initial, and \mathbf{q}_0 is the given vector of state parameters at the initial time $t = t_0$.

The particular view of the mathematical model (2) is not principal in this research, because it can be different in agreement with the processes inherent for the considered automation object. It is principal that, the controlled parameter of the automation object is depended by the state parameters of the inherent processes for the given controlling parameter, and such dependence in general case can be defined by means the differential equation with the necessary initial condition

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x}(t, \mathbf{q}; u(t)), \quad x(t_0) = x_0, \quad (3)$$

where $\dot{x}(t, \mathbf{q}; u(t))$ is the built velocities of the changes of the controlled parameter due to processes in the automation object for the given controlling parameter; x_0 is the given value of the controlled parameter at the initial time $t = t_0$.

The differential equation and the necessary initial condition (3) cannot be solved without consideration of the mathematical model (2) defining the processes inherent for the considered automation object, so it is possible to say, that the coupled mathematical models (2) and (3) are the general representation of the mathematical model \mathcal{M} defining the dependency (1) between the controlled and controlling parameters of the automation object. The level of the detailing in the mathematical model \mathcal{M} representing in the view (2), (3) is defined by the dimension of the vector $\mathbf{q} = \mathbf{q}(t)$ used to represent the state of the processes inherent for the considered automation object. So, the proposed general approach to represent the mathematical model of an automation object gives the way to have less and more detailed mathematical modelling. The more detailed mathematical modelling (2), (3) is the relatively separate problem, so that if the details of usages of the mathematical model (2), (3) are hidden, then it can be assumed as the digital twin of the considered automation object. A digital twin can be used for different problems from mathematical modelling of automation object to making training simulators for industrial staff.

CONCLUSIONS. The development of digital twins of automation objects can be reduced to build the coupled mathematical models representing inherent processes and representing the controlled parameters for the given controlling parameter in the form of system of ordinal differential equations with the necessary initial conditions. It gives general representation of the dependency between the controlled and controlling parameters of the automation object. The level of the detailing in the mathematical model representing in the view is defined by the dimension of the vector used to represent the state of the processes inherent for the considered automation object. If usages of mathematical models are hidden, then it can be assumed as the digital twin of the considered automation object.

References:

1. Leyen, U. (20124). European Commission and Directorate-General for Communication, Europe's choice – Political guidelines for the next European Commission 2024–2029. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 31 p. <https://doi.org/10.2775/260104>
2. Diaz-Sarachaga, J. M. (2025). Developing an assessment governance framework for urban digital twins: Insights from smart cities. *Cities*. Vol. 156, Article ID 105558. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105558>

РОЗПІЗНАВАННЯ ЖЕСТИВ І КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ

Д. Є. Зяць

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: diana.zaiats@nure.ua

Анотація: У статті розглядається технологія комп'ютерного зору для дистанційного керування пристроями, що базується на розпізнаванні жестів і обробці зображень у реальному часі. Описано застосування цієї технології в промисловості для автоматизованого контролю якості, у медицині для безконтактного управління обладнанням та в побуті для взаємодії зі смарт-пристроями. Наведено приклад реалізації на основі бібліотеки MediaPipe від Google, яка дозволяє швидко та точно розпізнавати жести, перетворюючи їх у команди для комп'ютера. Відзначено гнучкість і перспективи розвитку цієї технології.

Ключові слова: Комп'ютерний зір, розпізнавання жестів, обробка зображень, машинне навчання, Алгоритми штучного інтелекту.

Комп'ютерний зір у системах дистанційного керування – технологія, що використовує камери та алгоритми обробки зображень для розпізнавання жестів, аналізу середовища та взаємодії з пристроями на відстані. Такий підхід усуває необхідність у фізичних контролерах та сенсорних екранах, забезпечуючи зручніше й інтуїтивне керування.

Ці системи базуються на різних технологіях. Для виявлення об'єктів застосовуються алгоритми машинного навчання з можливостями ідентифікації об'єктів і руху в реальному часі. Наприклад, сучасні камери можуть розпізнавати положення рук та інтерпретувати його як команду для пристрою. Серед найважливіших напрямків - системи управління жестами, що дозволяють відстежувати положення пальців і рухи користувача та перетворювати їх на певні команди.

Застосування комп'ютерного зору в дистанційному керуванні широко використовується в різних сферах. У промисловості він використовується для контролю якості продукції без участі оператора, в медицині - для безконтактного управління обладнанням в операційних, а в повсякденному житті - для управління смарт-телевізором жестами без пульта.

Одним із прикладів реалізації таких технологій є проект, який використовує бібліотеку MediaPipe від Google. Ця бібліотека дозволяє швидко визначати положення долоні та ключові точки пальців, перетворюючи їх у команди для пристроїв. Для розпізнавання жестів аналізуються координати ключових точок зап'ястя та кінчиків пальців (0, 4, 8, 12, 16, 20), враховується нахил долоні, розділеної на 8 секторів по 45 градусів.

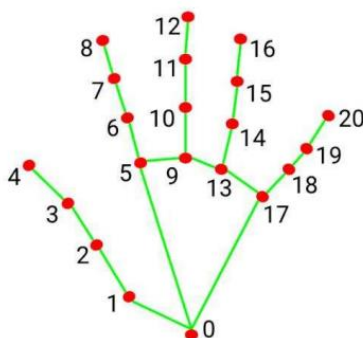


Рис. 1 – Ключові точки долоні за бібліотекою MediaPipe

Завдяки цьому можна отримати до 256 комбінацій жестів, що обробляються зі швидкістю близько 60 кадрів на секунду. Система, написана на Python із використанням OpenCV і MediaPipe, може взаємодіяти з комп'ютером через модуль керування на Golang із бібліотекою Robotgo, керуючи мишею, клавіатурою або виконуючи UNIX-команди. Найбільшою перевагою цієї моделі є її гнучкість, простота додавання функціоналу та пристосування до нових завдань.

ВИСНОВКИ. Комп'ютерний зір у системах дистанційного керування виконує ключову роль у трансформації взаємодії з технологіями, роблячи її інтуїтивнішою та безконтактною. Він дозволяє пристроям «бачити» й аналізувати рухи користувачів, переводячи їх у команди. Це не лише звільняє нас від використання фізичних контролерів, але й робить управління більш точним і швидким.

Практична цінність комп'ютерного зору очевидна в широкому спектрі застосувань. У промисловості він дозволяє автоматизувати контроль якості, у медицині — забезпечити стерильність і точність у роботі з обладнанням, а в побуті — полегшити управління смарт-пристроями. Він підвищує зручність використання технологій для людей з фізичними вадами та знижує поріг використання складних систем.

Подальші перспективи розвитку комп'ютерного зору пов'язані з удосконаленням алгоритмів машинного навчання, що дозволить підвищити точність розпізнавання жестів, враховувати контекст середовища та адаптувати системи до індивідуальних особливостей користувачів. Інтеграція комп'ютерного зору з іншими технологіями штучного інтелекту може створити більш «розумні» й адаптивні рішення, здатні працювати в найрізноманітніших умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Attar, H., & et al.. (2022). Zoomorphic Mobile Robot Development for Vertical Movement Based on the Geometrical Family Caterpillar. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, Article ID 3046116, <https://doi.org/10.1155/2022/3046116>.
2. Stenger, B., Woodley, T., & Cipolla, R. (2010). A Vision-based Remote Control. *Studies in Computational Intelligence*. URL: https://www.researchgate.net/publication/226046175_A_Vision-based_Remote_Control.
3. Favorskaya, M. N., & Jain, L. C. *Computer Vision in Control Systems-3: Aerial and Satellite Image Processing* / M. N. Favorskaya, L. C. Jain ; Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, University of Canberra, Bournemouth University, KES International. – Cham : Springer, 2018. – 263 p. – ISBN 978-3-319-67515-2.
4. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Demska, N. (2025). Development of a model for recognizing various objects and tools in a collaborative robot workspace. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 2(1), 224-239
5. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.
6. Automated Monitoring and Visualization System in Production / V. Lyashenko, Abu-Jassar Amer Tahseen, V. Yevsieiev, S. Maksymova // *Int. Res. J. Multidiscip. Technovation*, 5(6), 09-18.
7. Gurin, D., Yevsieiev, V., Maksymova, S., & Alkhalailah, A. (2024). MobileNetv2 Neural Network Model for Human Recognition and Identification in the Working Area of a Collaborative Robot. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(8), 5-12.
8. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.

RESISTANCE SENSORS OF ANGULAR VELOCITY FOR RESEARCH ROBOTS TO BENCHMARK SMART CITIES APPLICATIONS

Illia Kalashnykov, Irina Kolupaieva, Yuri Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: illia.kalashnykov@nure.ua, iryna.kolupaieva@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The resistance sensors are considered to estimate angular velocities of parts of research robotics envisaged for benchmarks in small scales of automation engineering solutions for reliable implementations in applications related with smart cities. It is shown that applications of resistance sensors to estimate angular velocities are suitable due to the simple required electrical measurements and complicated due to necessities of differentiating measured voltage on the time having incorrectness in Adamar's sense. It is noted that the suitable regularisation is required to use resistance sensors for estimating angular velocities.

Key words: smart cities, automation benchmarks, angular velocity, resistance sensors.

RELEVANCE. Smart cities implementations are significantly based on the different robotics applications requiring reliable benchmarks for engineering automation solutions. Due to the noted circumstances, all researches about benchmarks of engineering automation solutions are relevant at present especially in the context of applications for smart cities related with the modern European plans in sustainable prosperity and competitiveness through green and digital technologies implementations [1].

The principal attention to robotics for smart cities is in widening the fields of possible applications in future [2], including for the narrow specific tasks that occurred from the pandemic crisis, like it is discussed in the research [3] for an example. Besides, some researches like [4] are related with automation systems providing the resource and energy efficiencies in agreement with the smart cities essential principles. To provide all directions of robotics implementations in smart cities it is critically necessary to have benchmarks providing reliable automation engineering solutions, and it requires corresponding experimental research to substantiate and to illustrate the theoretical developments.

The difficulties of experimental research related with benchmarks of the automation engineering solutions for robotics are related with the necessities in real-world systems that allow embedding the researched solutions to the considered automation objects to see directly the results of its. Such real-world systems must be developed and must be made from the construction materials, and they require energy and materials consumptions, as well as necessary maintenance during and outside implementations of researches. All these increases required funding, related carbon emissions and material wastes during benchmarks of automation engineering solutions. To make benchmarks of automation engineering solutions greener and cheaper, the usage of special developed research robotics, which can allow representing considered processes in small scales, but a lot of problems must be resolved to do it. The purpose of this research is in development of the resistance sensors of angular velocities for research robotics allowing benchmarks of automation engineering solutions in small scales.

RESULTS. To measure angular velocities of the parts, potentiometers with a linear circular resistive element and the rotated sliding contact are proposed to use in research robotics specialised for benchmarking of the engineering automation solutions. Such potentiometers are schematically represented on the Figure 1a, and they provide the supplied voltage dividing by the following relation:

$$U = U_s K \varphi, \quad (1)$$

where φ is the angle defining the position of the slider of the potentiometer; U is the measured voltage; U_s is the supplied voltage required for operating the scheme; K is the relative resistance on the unit of the angle of the rotation of the slider of the potentiometer.

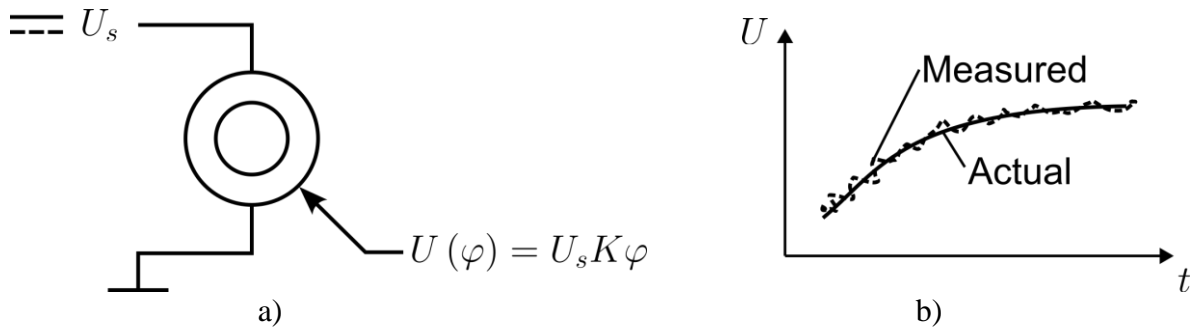


Figure 1 – Scheme of the potentiometer (a) and voltage (b) representing angular velocity

If the angle φ defining the position of the potentiometer is the same with the angle of the rotation of the rotating part of the robotic, then the angular velocity can be defined in the view:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}, \quad (2)$$

where ω is the angular velocity of a part of robotics; t is the time.

The relation (1) allows to define angular velocity (3) through the measured voltage:

$$\omega = \frac{1}{U_s K} \frac{dU}{dt}. \quad (3)$$

The principal problem to use the relation (3) to define the angular velocity is in the necessity of differentiating the measured voltage as the function of the time. Indeed, the different errors exist during the measures, as it is schematically shown on Figure 1b. Although high-quality measuring devices provide low errors to measure voltage, even low errors do not allow defining the derivative on the time for the measured voltage (Figure 1b), so that differentiating a function is incorrect operation in Adamar's sense. Due to these circumstances, the relation (3) cannot be used directly, and it is necessary to develop the suitable regularisation procedure.

CONCLUSIONS. The resistance sensors are indeed suitable for instrumental estimations of angular velocities due to the possibilities of representing the estimated value through the related electrical voltage, which can be easily measured directly, as well as due to the simple relation between the measured voltage and the estimated angular velocity. At the same time, the principal difficulties exist due to that the estimated angular velocity is defined by the derivative of the time of the measured voltage, so that such relation is incorrect in Adamar's sense, and cannot be used directly. So, to realise reliable estimations of the angular velocities by means of the resistance sensors, it is necessary to develop the suitable regularisation approach to exclude incorrectness due to differentiating a measured voltage, and further researches are planned to do it.

References:

1. Leyen, U. (20124). European Commission and Directorate-General for Communication, Europe's choice – Political guidelines for the next European Commission 2024–2029. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 31 p. <https://doi.org/10.2775/260104>
2. Chand, R., Sharma, B., Kumar, S. A. (2025). Systematic review of mobile robots applications in smart cities with future directions. Journal of Industrial Information Integration. Article iID 100821. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2025.100821>

IMPLEMENTATIONS OF CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES FOR SUSTAINABILITY OF LABORATORIES IN UNIVERSITIES INSIDE SMART CITIES

Irina Kolupaieva¹, Yurii Romashov¹, László Vértesy²

¹Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

²Hungarian University of Agriculture and Life Sciences (MATE)

Hungary, 2100, Gödöllő, Páter Károly u. 1

E-mail: iryna.kolupaieva@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua, vertesy.laszlo@uni-mate.hu

Annotation: The possible ways for implementations of circular economy principles are researched for laboratories of universities to agree their activities with smart cities initiatives, and the graph is used to represent the laboratory related activities. It is shown, so that the Reduce, Reuse and Recycle principles must be implemented for real-world prototypes firstly. The suitable design, optimisation and 3D printing of real-world prototypes are crucial for implementations of circular economy principles and sustainability of laboratories. Usage of the graph allow highlighting separate parts of the considered phenomena, and this approach will be used in further researches.

Key words: circular economy, smart cities, sustainability, university, laboratory.

RELEVANCE. Smart cities initiatives are based on implementations of green and digital technologies related with the providing of sustainable prosperity and competitiveness of the EU, as it is highlighted in the political guidance [1]. Evolutions of universities as the part of the related communities of cities must be in agreement with the smart cities' initiatives, and besides they must be on the cutting-edges of these to have sustainable development in the modern world realities. The sustainability of developments of universities' laboratories is the most sensitive to the modern global challenges like the COVID-19 restrictions and similar limiting opportunities of the visiting of teaching buildings. So, the relevance of this research is due to relations with the European visions on the circular economy principle as one of the crucial pillars providing sustainable developments, prosperity and competitiveness in the next decades.

Laboratories support crucial teaching contents and skills during studying in universities, but significant efforts in management, maintenance and funding are required to support the related activities. Besides, the laboratory activities are related with materials' flows and energy consumptions, so that it leads to accumulations of wastes as well as to direct and indirect carbon emissions due to the performance of local processing of materials and consumptions of the electricity and the heat. Although the decreasing of wastes and carbon emissions is important by itself, the clear relations between wastes and carbon emissions from one side and the required funding and maintenance for laboratory activities from other side make yet more relevant the sustainable development of universities' laboratories. Due to these circumstances, a lot of researches are related with the sustainability of universities' laboratories, especially in chemistry like the researches [2, 3] for an example. At the same time, the laboratory support requires also in the fields related with automations and robotics to illustrate for students and to substantiate experimentally the theoretical results similar to the discussed in the research [4]. The purpose of this research is in implementations of circular economy principles to provide sustainable development of scientific and teaching laboratories in universities to agree their evolutions with smart cities initiatives. This purpose is agreed with EU visions on ways to sustainable prosperity and competitiveness [1].

RESULTS. It is assumed that implementations of circular economy can be reduced through Reduce, Reuse and Recycle of resources' flows related with activities in universities' laboratories. The possible laboratory activities are generalised as it is shown on Figure 1 to the computer simulations, virtual realities, cyber-physical and real-world prototypes, and it is clear, that the most of resources' flows are related exactly with usages of real-world prototypes, so that the Reduce, Reuse and Recycle principles must be implemented for real-world prototypes firstly. The cyber-physical

prototypes also involve the real-world components, but they are the same as separate real-world prototypes, so implementations of circular economy principles for them are the same too. The suitable design, optimisation and 3D printing of real-world prototypes are crucial for implementations of circular economy principles (Figure 1) and sustainability of laboratories.

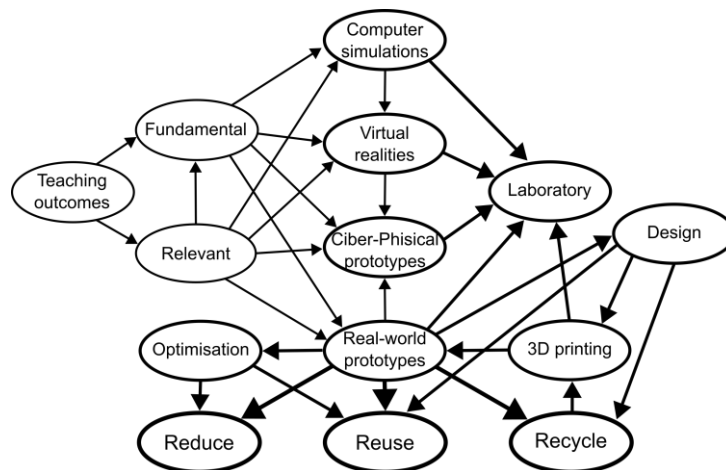


Figure 1 – Circular economy principles in universities' laboratories

Due to representations of activities inherent for laboratories in universities by means of the graph as it is shown on Figure 1 it is proved the complex nature of the researched phenomena, but it is proved that it is possible to divide it on separate problems associated with the related observable subgraphs. Indeed, as an example of this the Figure 1 illustrates, that usages of real-world prototypes produce relatively separate problems involving the optimisation and the design suitable for the 3D printing and for the providing of the Reduce, Reuse and Recycle principles of the circular economy. Other example can illustrate the relatively separate problems related with dividing laboratory activities to supporting the fundamental and relevant teaching outcomes, and it can be associated with the correspondent subgraph selected on Figure 1.

CONCLUSIONS. The possible laboratory activities can be generally reduced to computer simulations, virtual realities, cyber-physical and real-world prototypes, and the most of resources' flows are related exactly with usages of real-world prototypes, so that the Reduce, Reuse and Recycle principles must be implemented for real-world prototypes firstly. The suitable design, optimisation and 3D printing of real-world prototypes are crucial for implementations of circular economy principles and sustainability of laboratories. Representations of activities of universities' laboratories by means the graph allow highlighting separate parts of the considered phenomena, and this approach will be used in further researches.

References:

1. Leyen, U. (20124). European Commission and Directorate-General for Communication, Europe's choice – Political guidelines for the next European Commission 2024–2029. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 31 p. <https://doi.org/10.2775/260104>
2. Cornejo-León, S., Gómez-Navarro, C. S., Contreras-Atrisco, Z. A., Zárata-Guzmán, A. I., Aguilar-Garnica, E., & Romero-Cano, L. A. (2024). Development of a sustainability-oriented university laboratory: Insight into adsorption kinetics models for the removal of pollutants from aqueous solution. *Environmental Research*. Volume 258, Article ID 119422. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119422>
3. Freese, T., Elzinga, N., Heinemann, M., Lerch, M. M., & Feringa, B. L. (2024). The relevance of sustainable laboratory practices. *RSC Sustainability*. Volume 2, Issue 5. Pages 1300-1336. <https://doi.org/10.1039/d4su00056k>

EUROPEAN VIEWS ON A GREEN AUTOMATION AS A CRUCIAL TECHNOLOGY FOR CIRCULAR ECONOMY IMPLEMENTATIONS TO SMART CITIES

Irina Kolupaieva, Igor Nevludov, Yurii Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: kolupaieva@nure.ua, igor.nevludov@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The phenomenon of green automation is considered from the European point of view through implementations of circular economy principles to the automated systems that existed in the linear economy. It is shown that developments of green automation require considering the related optimisation problem to provide the minimum consumed resources and produced wastes during exploitation of an automation object involved in the smart cities' environments. The principal difficulties are in the formulation of this optimisation problem for the considered automation object, because it requires more detailed mathematical modelling.

Key words: green automation, circular economy, smart cities, resource efficiency, wastes.

RELEVANCE. Smart cities initiatives are supported by the European Commission due to the agreement with the key priorities in the providing of the sustainable prosperity and competitiveness of the EU regarding with the political guidance [1] on 2024-2029. Wider implementations of automated controls for urban infrastructures are in the core of smart cities, so that developments of automation engineering technologies are important at present due to the novel problems related with the providing of efficient controls, which lead to the concepts about the green automation. Thus, the relevance of this research is due to the necessities in developments and improvements of green automation technologies for applications related with smart cities initiatives.

Goals in green transitions formulated for the EU in the guidance [1] have significant influences on manners for implementations of businesses, so that the new approaches are required, and a lot of older approaches do not give profits under the novel landscapes involving green-related factors. As an example, it is possible to refer to the research [2] related with the approaches to substantiate a financial support for environment-friendly projects, so that exactly green-supporting factors will be more important and even primary to have a support for a business near future. At the same time, implementations of green-factors are only in the initial stage, so that a lot of currently existing business projects and technologies are not environment-friendly, but it is well-known from a lot of examples, that improvements just of automation systems allow to make a lot of existing projects more environment-friendly, so that the automation is considered in the context of the EU green transition in different fields, like it is discussed in the research [3]. In the previous research [4], the optimal control theory is proposed to develop the resource and energy efficient controls agreed with the circular economy principles, and as its continuation, the purpose of this research is in European views of the green automation phenomenon through relations circular economy principles, crucial for sustainable prosperity and competitiveness of the EU [1].

RESULTS. Automation has a long history, about 2000 years at least, but modern automation engineering was formed during the last three centuries and related with great scientists including J.C. Maxwell and A.M. Lyapunov and others, so that an automation is reduced to a choosing of a controlling parameter, which allows providing a given controlled parameter of an automation object. Such approach allows developments of automated systems for linear economy as it is shown on Figure 1. The phenomenon of the green automation was formed last decade due to challenges related with the EU green transition and the correspondent changing in the landscapes of business making factors through necessities of implementations of circular economy principles, so exactly the European visions on the green automation is related with implementations exactly of circular economy principles as it is shown on Figure 1. Thus, the phenomenon of green automation can be imagined as implementations of circular economy principles to automation systems developed for

linear economy, as it is shown on Figure 1, and it is in the full agreement with exactly the European views represented in the political guidance [1] and related researches [2, 3].

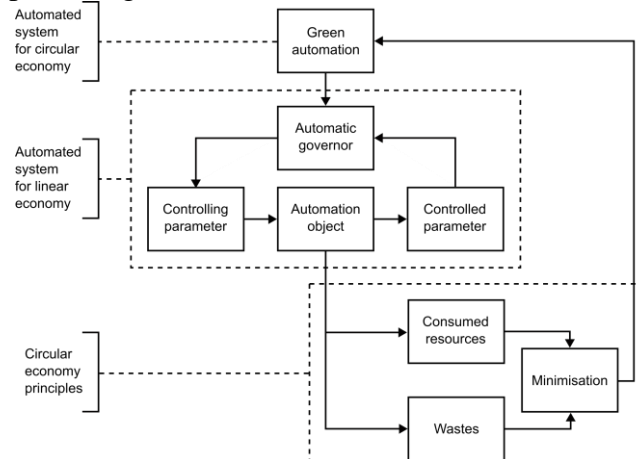


Figure 1 – Implementations of circular economy principles to automated systems

The European views on green automation (Figure 1) prove that it requires considering the related optimisation problem to provide the minimum consumed resources and produced wastes during exploitation of an automation object. The principal difficulties are in the formulation of this optimisation problem for the considered automation object, because it requires mathematical modelling of the processes inherent for the automation object with the details allowing to estimate not only the controlled parameter, but also resource consumptions and wastes productions for the given controlling parameter. In general case, it is impossible to give the analytical representation of the objective function and constraints related with this optimisation problem, so that they can be defined only indirectly through numerical solving of the differential equations representing the mathematical models of correspondent processes, as it is in the research [4] for an example.

CONCLUSIONS. The phenomenon of green automation is formed due to challenges related with the EU green transition and the correspondent changing in the landscapes of business making factors through necessities of implementations of circular economy principles, so exactly the European visions on the green automation is related with implementations exactly of circular economy principles to automated systems. The green automation requires considering the related optimisation problem to provide the minimum consumed resources and produced wastes during exploitation of an automation object involved in the smart cities' environments.

References:

1. Leyen, U. (20124). European Commission and Directorate-General for Communication, Europe's choice – Political guidelines for the next European Commission 2024–2029. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 31 p. <https://doi.org/10.2775/260104>
2. European Banking Authority, Castren, O., & Russo, R. (2024). Green-supporting factors, brown-penalising factors and the prudential framework – A theoretical approach. Publications Office of the European Union. 29 p. <https://doi.org/10.2853/0471268>
3. European Commission: CENIT and Directorate-General for Mobility and Transport (2023). Stakeholder conference on means to mitigate the impact of the transition to automation and digitalisation on the transport workforce. Conference report, Publications Office of the European Union. 24 p. <https://doi.org/10.2832/532110>
4. Kolupaieva, I., Nevliudov, I., Romashov, Y., Tiesheva, L., & Vértesy, L. (2024). Intelligent Automated Control in Accordance with Resource Efficiency Criteria toward Circular Economy Transition. Lecture Notes in Networks and Systems, 1089 LNNS, pp. 133–141, https://doi.org/10.1007/978-3-031-67195-1_17

EUROPEAN VIEWS ON AN INTELLIGENT AUTOMATION AS A CRUCIAL TECHNOLOGY FOR CIRCULAR ECONOMY BUSINESS MODELS IN SMART CITIES

Irina Kolupaieva, Igor Nevludov, Yurii Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: kolupaieva@nure.ua, igor.nevludov@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The phenomenon of intelligent automation is considered from the European point of view through related evolutionary improvements of automated systems for linear economy business models by means of implementations of adaptiveness toward circular economy business models. It proves, that intelligent automation can be considered as a crucial technology for circular economy business models due to wide possibilities of the AI in generating necessary decisions for adaptiveness taking into account various circular economy principles and their combinations, as well as due to clear ways to agree with the AI Act envisaged as the common EU law near future.

Key words: intelligent automation, circular economy, business model, smart cities.

RELEVANCE. An implementation of circular economy business models is one of effective ways of improvements for smart cities initiatives, and it is in agreement with the key priorities in the providing of the sustainable prosperity and competitiveness of the EU regarding with the political guidance [1] on 2024-2029. Automation is in the cutting-edge of smart cities projects, but implementations of intelligent automation are assumed as necessary improvements allowing to increase efficiency of controls for infrastructures in smart cities. So, the relevance of this research is due to agreements with views [1] on the sustainable prosperity and competitiveness of the EU.

Automation is the crucial technologies due to possibilities of improvements of business models, including through new services implementations [2]. At the same time, developments of automation technologies are so fast that lack of the time exists to rebuild business models, and it is difficult even to have the all-conventional glossaries, which are developed intensively at present [3]. So, the purpose of this research is in generalisation on the European view on intelligent automation as tools for implementations of circular economy business models in smart cities related projects.

RESULTS. An intelligent automation is generally associated with applications of Artificial Intelligence (AI) for automation purposes, and it is the all-conventional European view [2, 3]. The principal difficulties are related exactly with usages of AI, because novelties of AI technologies and potential risks of their implementations, so that law regulations are planned to be implemented for all activities related with AI applications [4]. Directions of discussions near the AI Act as the EU law for the future are discussed in the research [5], and it is principal to propose the clear definition of AI and related notions. Due to the discussions [5], it is formulated the final notion of the AI for the AI Act, and this notion does not involve references of the technologies related with the AI, but the adaptiveness is defined as the principal inherent properties exactly of the AI independently on approaches providing it. The last proposed definition [5] of the AI covers a lot of related activities, including the previous research [6], and all of them will be regulated after implementing the AI Act.

Implementations of the AI give principally a lot of opportunities to improve automated systems, including suitable for circular economy business models, but, at the same time, it does not exist the all-conventional approaches agreed with automation engineering and with the AI Act developing for near future implementations, so that only some particular implementations are known. The European views on the intelligent automation [2, 3] in the context of circular economy can be represented as related improvements of automated systems usually for linear economy as it is shown on Figure 1. Such representation (Figure 1) of intelligent automation is principally based on the usage of the AI to provide adaptations of the all-conventional automation engineering solutions, so that it is in agreement with the last definition [5] of the AI for the AI Act. The proposed approach (Figure 1) to

represent intelligent automation allows developing automated systems for circular economy business models through the evolution of automated systems widely used in linear economy business models.

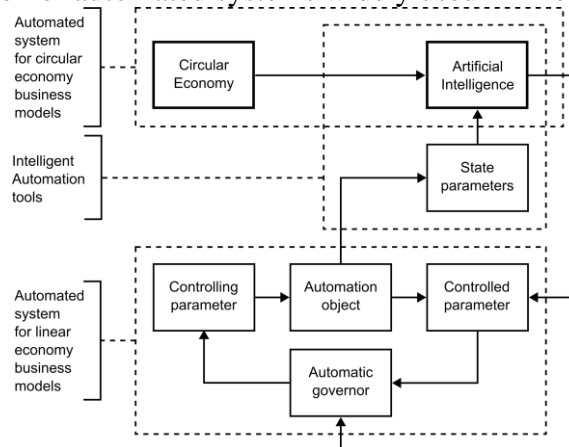


Figure 1 – Automated systems for different business models

Wide opportunities of the AI to generate decisions taking into account various circular economy principles and their combinations allow considering intelligent automation (Figure 1) as a crucial technology for circular economy business models.

CONCLUSIONS. The European views on intelligent automation in the context of circular economy business models can be reduced to related evolutionary improvements of automated systems usually for linear economy business models through implementations of adaptiveness. Ample possibilities of the AI in generating decisions for adaptiveness taking into account various circular economy principles and their combinations allow considering intelligent automation as a crucial technology for circular economy business models.

References:

1. Leyen, U. (20124). European Commission and Directorate-General for Communication, Europe’s choice – Political guidelines for the next European Commission 2024–2029. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 31 p. <https://doi.org/10.2775/260104>
2. Cirillo, V., Rinaldini, M., Virgillito, M.E., Divella, M., Manicardi, C., Massimo, F.S., Cetrulo, A., Costantini, E., Moro, A., & Staccioli, J. (2022). Case studies of automation in services, JRC129691. Publications Office of the European Union, Luxembourg. 109 p. <https://doi.org/10.2760/347087>
3. Estevez Almenzar, M., Fernandez Llorca, D., Gomez Gutierrez, E., & Martinez Plumed, F. (2022). Glossary of human-centric artificial intelligence, JRC129614. EUR 31113 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg 83 p. <https://doi.org/10.2760/860665>
4. Commission, 'Laying down harmonised rules on Artificial Intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain union legislative acts' (Proposal for a regulation) COM/2021/206 final. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206>
5. Wendehorst, C., & Nessler, B. (2024). Guidelines on the Application of the Definition of an AI System in the AI Act: ELI Proposal for a Three-Factor Approach. Web publication, European Law Institute. 28 p. https://www.europeanlawinstitute.eu/fileadmin/user_upload/p_eli/Publications/ELI_Response_on_the_definition_of_an_AI_System.pdf
6. Kolupaieva, I., Nevliudov, I., Romashov, Y., Tiesheva, L., & Vértesy, L. (2024). Intelligent Automated Control in Accordance with Resource Efficiency Criteria toward Circular Economy Transition. Lecture Notes in Networks and Systems, 1089 LNNS, pp. 133–141, https://doi.org/10.1007/978-3-031-67195-1_17

HIGH-PERFORMANCE COMPUTING TO RESEARCH RESOURCE AND ENERGY EFFICIENCIES OF AUTOMATED CONTROLS FOR SMART CITIES APPLICATIONS

Irina Kolupaieva, Yurii Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: iryna.kolupaieva@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The general concepts are proposed for developments of computer programs for high-performance computing required to research resource and energy efficiencies of automated controls to support greener smart cities. These concepts are reduced to usages of Fortran programming language and in excluding of graphical user interfaces slowing calculations, so that only the text modes must be envisaged in the scientific software for high-performance calculations. Free Fortran and C compilers provided by the GNU project are recommended to develop the programs for high-performance calculations for scientific research.

Key words: smart cities, efficient automation, calculations, programming.

RELEVANCE. Implementations of energy and resource efficient automated controls are important to make smart cities greener, but it demands scientific research, and computer simulations give the most efficient and greener way to do it. The high-performance calculations are required to support cutting-edge research, and it is relevant due to modern visions that implementations of green digital technologies necessary to provide sustainable prosperity and competitiveness of the EU, as it is highlighted in the guidance [1].

Automation technologies are precisely important to provide resource and energy efficiencies in the smart cities associated applications, so a lot of modern scientific researches are devoted to these fields, like it is discussed in [2, 3] for clear examples. Developments of the automated controls with resource and energy efficiencies require optimisation procedures, which can be implemented only by means of the related mathematical models and numerical approaches through computer calculations, as it is discussed in the research [4]. The indirectly defined objective function and the constraints for the related optimisation problem in the research [4] do not allow to research the extremal properties, so it is possible to use only the direct iterations in the permissible domain related with the constraints to find the optimum for the objective function. Such direct iterations must be with small steps, and it demands high-performance computing. Although a lot of commercial and free computer systems are proposed to implement the calculations for scientific and engineering researches, but they are directed to the users, and they have the user-friendly graphical interfaces providing the user easily definitions of the mathematical models, and it significantly decreases the efficiency of performances of calculations due to complicated program codes to agree graphical user interfaces with the computational procedures. To provide high-performance computations, it is necessary to use the specialised computer programs, so the purpose of this research is in formations of general concepts for developments of computer programs for high-performance computing required to research resource and energy efficiencies of automated controls to support greener smart cities.

RESULTS. The high-performance computing is related only with the compiled programs, but not with the interpreted commands. It is well-known [5], that the Fortran programming language is the most suitable for scientific calculations due to high-performance of compiled machine codes, so exactly this programming language must be used to develop specialised computer programs to research resource and energy efficiencies of automated controls to support greener smart cities. The typical flowchart representing scientific calculations is shown on Figure 1, so that the pre-processor provides preparing input data for computing, the processor provides computing, and the post-processor provides preparing computed data for further representation on the user-friendly views. On each of these stages it is necessary to exclude the usage of graphical user interfaces slowing

calculations, but it is crucially to have suitable text modes to control the state of computing, which can be during hours/ and a lot of codes are required for this.

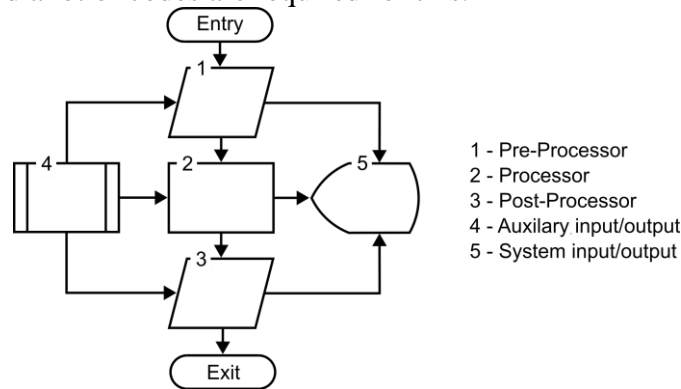


Figure 1 – Typical flowchart representing scientific computations

To simplify developments of programs regarding with the flowchart shown on Figure 1, it is necessary to have the auxiliary input/output subroutines providing the suitable text modes, and it is the separate problem related with programming automation. Because of the support of suitable text modes is not related with the sense of the calculations, it is not necessarily, but it is possible to use the C programming language, so that the software for scientific calculations can be developed by means C and Fortran programming languages simultaneously. The well-known free Fortran and C compilers provided by the GNU project are recommended to develop the programs for high-performance calculations for scientific research. These compilers allow using several programming languages to develop the software.

CONCLUSIONS. The high-performance computing is related only with the compiled programs, but not with the interpreted commands. The Fortran programming language is the most suitable for scientific calculations due to high-performance of compiled machine codes. It is necessary to exclude the usage of graphical user interfaces slowing calculations, but it is crucially to have suitable text modes to control the state of computing, which can be during hours/ and a lot of codes are required for this. Free Fortran and C compilers provided by the GNU project are recommended to develop the programs for high-performance calculations for scientific research, because it is possible to use several programming languages to develop the software.

References:

1. Leyen, U. (20124). European Commission and Directorate-General for Communication, Europe’s choice – Political guidelines for the next European Commission 2024–2029. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 31 p. <https://doi.org/10.2775/260104>
2. Cairone, S., Hasan, S. W., Choo, K.-Ho, Lekkas, D. F., Fortunato, L., Zorpas, A. A., Korshin, G., Zarra, T., Belgiorno, V., & Naddeo, V. (2024). Revolutionizing wastewater treatment toward circular economy and carbon neutrality goals: Pioneering sustainable and efficient solutions for automation and advanced process control with smart and cutting-edge technologies. *Journal of Water Process Engineering*. Volume 63. Article ID 105486. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105486>
3. Sharma, S. K., AlGhamdi, R., Alasmari, S., Sharma, N. K., Khan, H., Ahmad, F. (2024). Fractional order PID controllers for collaborative energy management in IoT-Smart cities: Hybrid optimization algorithms for demand. *Energy Reports*. Volume 12. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.11.038>.
4. Kolupaieva, I., Nevliudov, I., Romashov, Y., Tiesheva, L., & Vértesy, L. (2024). Intelligent Automated Control in Accordance with Resource Efficiency Criteria toward Circular Economy Transition. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1089 LNNS, pp. 133–141, https://doi.org/10.1007/978-3-031-67195-1_17

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОГЕНЕРАЦІЇ

С. В. Хрустальова, Н. Р. Курбанов

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: nikita.kurbanov@nure.ua, sofiia.khrustalova@nure.ua

Анотація: В роботі основну увагу було приділено перспективам розвитку альтернативних систем електрогенерації. Було розглянуто і проаналізовано вже існуючі системи електрогенерації. Визначено найперспективнішу альтернативну систему електрогенерації, враховуючи швидкість розвитку технологій, вплив на навколишнє середовище та можливість її використання в різних куточках світу.

Ключові слова: система, електрогенерація, альтернативний.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Сучасний світ стикається з викликами енергетичної безпеки, кліматичних змін та зростаючого попиту на електроенергію. Традиційні методи генерації електроенергії, що базуються на викопному паливі, спричиняють значні екологічні проблеми та економічні ризики, зокрема залежність від нестабільних цін на ресурси. Сьогодні світовою стала тенденція розвитку енергетики в контексті забезпечення енергетичної самостійності кожної країни. Політика прагнення енергонезалежності продиктована стрімким підвищенням цін на енергоносії, територіальними та кількісними обмеженнями покладів корисних копалин, а також негативним впливом на екологію [1]. У цьому контексті розвиток альтернативних систем електрогенерації є надзвичайно актуальним.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Використання відновлюваних джерел енергії, демонструють значний потенціал для забезпечення виконання цілей сталого розвитку ООН. Так, сьома ціль сталого розвитку – чиста та відновлювана енергія, що означає забезпечення доступу для усіх до недорогих, надійних, відновлюваних та сучасних джерел енергії. Технологічний прогрес у видобутку енергії з відновлювальних джерел та підвищення ефективності перетворення цієї енергії разом з контролем енергоспоживання сприяє зменшенню використання викопного палива, що позитивно скажется на екології. Так, сучасним методом вирішення проблеми регулювання енергоспоживання є створення автоматизованої системи управління ресурсами на базі WSN з можливістю дистанційного моніторингу споживання ресурсів та зберігання отриманої інформації в незалежному центрі аудиту та контролю [2].

З доступних людству на сьогоднішній день систем альтернативної електрогенерації, існує шість вже використовуваних у різних країнах систем, та одна перспективна у стані розробки. До цих джерел енергії відносять сонячну, вітрову, гідро, геотермальну, біоенергетику, водневу генерацію та відносно нову термоядерну енергетику, що заснована на процесі ядерного синтезу, як у Сонця. Сонячна енергія використовує панелі для перетворення світла на електрику, вітрові турбіни перетворюють кінетичну енергію вітру в електрику, гідроенергетика отримує енергію від руху води, геотермальна використовує тепло землі, біоенергетика отримує енергію з біомаси та біогазу, а воднева технологія виробляє електроенергію через хімічні реакції водню з киснем.

Аналізуючи популярність використання альтернативних джерел електрогенерації, можемо сказати, що Сонячна енергетика продовжує стрімко зростати, як показано на рисунку 1. У 2024 році Європейський Союз вперше виробив більше електроенергії з сонячних панелей, ніж із вугілля: 11% проти 10%. Це стало можливим завдяки рекордним темпам встановлення нових сонячних потужностей [3].

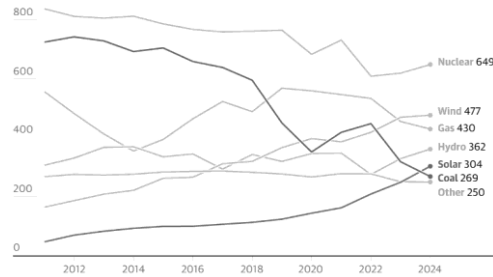


Рисунок 1 – Графік вироблення електроенергії [3]

Вітрова енергетика також демонструє значне зростання. У 2023 році світ додав на 50% більше потужностей відновлюваної енергії порівняно з попереднім роком, причому значна частина цього зростання припадає на вітрові установки. Китай відіграє ключову роль, збільшивши виробництво вітрової енергії на 66%.

Гідроенергетика залишається основним джерелом відновлюваної енергії в багатьох країнах. Наприклад, Бразилія отримує 88,9% своєї електроенергії з відновлюваних джерел, переважно гідроелектростанцій. Канада також має високий показник – 66,5% електроенергії з відновлюваних джерел, значна частина якої походить від гідроенергетики.

Геотермальна енергетика через географічні обмеження менш поширена, але важлива для таких країн, як Ісландія та Філіппіни.

Біоенергетика широко використовується в країнах із розвиненим сільським господарством. Наприклад, Швеція активно використовує біопаливо для виробництва електроенергії та опалення.

Воднева енергетика перебуває на стадії розвитку, але має значний потенціал. Країни, такі як Японія та Німеччина, інвестують у дослідження та впровадження водневих технологій.

Загалом, світові зусилля спрямовані на збільшення частки відновлюваних джерел енергії. На кліматичному саміті ООН COP28 майже 200 країн погодилися потроїти потужності відновлюваної енергетики до 2030 року. Хоча поточні темпи зростання є значними, вони ще недостатні для досягнення цієї амбітної мети.

ВИСНОВКИ. Аналізуючи досліджену інформацію, можемо зробити висновок, що сонячна енергетика є найперспективнішою альтернативною системою електрогенерації. Через швидкий розвиток даної технології, зниження вартості та можливості впровадження в будь-якому регіоні. Вона не має викидів CO₂, що робить її екологічно чистою і сприяє боротьбі зі змінами клімату. Сонячні панелі можуть бути використані в різних масштабах, від домашніх до великих фермерських станцій, що дозволяє забезпечити енергетичну незалежність. Завдяки підтримці урядів та міжнародних організацій, сонячна енергетика продовжує набирати популярність і є лідером серед відновлюваних джерел енергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Касич А. О. Чинники розвитку альтернативної енергетики у сучасних умовах [Електронний ресурс] / А. О. Касич, Я. О. Литвиненко // Економіка та суспільство. – 2017. – Вип. 12. – С. 93-99. – URL: https://economyandsociety.in.ua/journals/12_ukr/15.pdf (дата звернення: 25.03.2025).

2. AUTOMATED RESOURCE MANAGEMENT SYSTEM FOR THE UTILITY SECTOR BASED ON WIRELESS SENSOR NETWORKS / I. Nevludov et al. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2023. No. 1 (23). P. 184–196. URL: <https://doi.org/10.30837/itssi.2023.23.184> (дата звернення: 25.03.2025).

3. Niranjan A. ‘Rising star’: EU made more electricity from solar than coal in 2024. the Guardian. URL: <https://www.theguardian.com/world/2025/jan/22/rising-star-europe-made-more-electricity-from-solar-than-coal-in-2024?> (дата звернення: 25.03.2025).

MODERN IOT TECHNOLOGIES FOR CREATING AUTOMATED ACCESS SYSTEMS

R. V. Marunich, S. V. Sotnik

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: rostyslav.marunich@nure.ua

Annotation: The article analyzes modern IoT technologies for automated access control systems. The architecture of such systems, key components and innovative approaches, including biometric authentication, wireless communication protocols and the use of artificial intelligence, are considered. The advantages of integrating IoT into security systems and prospects for their further development are identified.

Key words: IoT, security, automated, access control, smart.

Modern IoT technologies for creating automated access systems are extremely relevant, as they provide a high level of security, convenience and adaptability to modern requirements [1-8]. Traditional access control methods are gradually losing their effectiveness, giving way to innovative solutions that combine RFID, NFC, biometrics, artificial intelligence, blockchain, and cloud services. The growth of cyber threats, the need for rapid data processing, and flexibility in access control make the use of IoT in this area not only desirable, but also necessary to ensure the reliability and efficiency of modern systems [9-11].

Access control and management systems (ACS) based on Internet of Things (IoT) technologies open up fundamentally new opportunities for ensuring the security of objects for various purposes. A key feature of IoT solutions is the integration of physical devices into a single network with the ability to remotely monitor and control over the Internet. Key components of IoT access systems, which are divided into three layers: devices, network and application layer (Fig. 1).

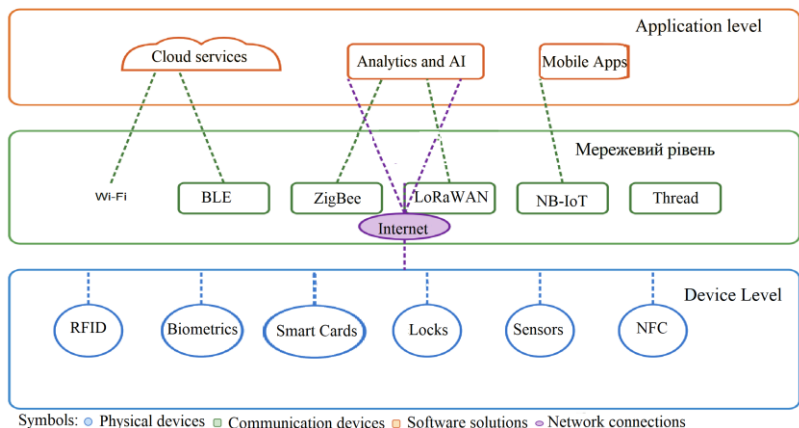


Figure 1 – Architecture of the IoT access control system

The figure 1 demonstrates the three-tier architecture of the IoT access system (on the lower level, various devices are shown: RFID readers, biometric scanners, smart cards, electronic locks, sensors and NFC devices); the middle level displays the main communication protocols (Wi-Fi, BLE, ZigBee, LoRaWAN, NB-IoT and Thread); the upper level represents applied solutions (cloud services, AI analytical systems and mobile applications); in the center of the diagram, the Internet is shown as a key component that provides communication between levels.

The architecture of a modern IoT access control system includes three key levels:

1. Device Layer – Includes sensors, actuators, and access controllers: smart cards, RFID tags, biometric scanners, electronic locks, motion and presence sensors.

2. Network layer – provides communication between devices and cloud services through a variety of protocols: Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE), ZigBee, LoRaWAN, NB-IoT.

3. Application layer – cloud services and software solutions for management, analytics and integration with other systems (ERP, CCTV, fire safety).

Innovative technologies used in modern systems: biometric authentication; wireless technologies and protocols; artificial intelligence and data analytics.

CONCLUSIONS. Modern IoT technologies play a key role in the development of automated access control systems, providing a high level of security, convenience and adaptability. The integration of RFID, NFC, biometric systems, artificial intelligence, and cloud services allows you to create flexible and efficient solutions that meet modern challenges, such as cyber threats and the need for fast data processing. Thus, IoT solutions not only change the approach to organizing access control, but also form a new level of security and access management, which is relevant for enterprises, government agencies, and private users.

REFERENCES:

1. Marunich, R., & et al. (2024). Approaches to ensuring the effective implementation of IoT technologies in various industries. International Conference «DIGITAL INNOVATION & SUSTAINABLE DEVELOPMENT 2024». – pp. 22-23

2. Yechevskiy A., & et al. (2024). Methods Of Identification Of Objects On Industrial Lines. International Journal of Academic Engineering Research (IJAER). – Vol. 8, Issue 11. – pp. 48-55

3. Polikanov, K., & et al. (2024). Smart home with house module: overview of automation technologies. International Conference «DIGITAL INNOVATION & SUSTAINABLE DEVELOPMENT 2024». – pp. 20-21

4. Hubar, A.Y., & et al. Impact of automation and CALS technologies on human factor in production. The 5th International scientific and practical conference “Perspectives of contemporary science: theory and practice” (June 24-26, 2024) SPC “Sci?conf.com.ua”, Lviv, Ukraine, 2024. – c. 243-249

5. Sotnik, S. V. (2024). Development of automated control system and registration of metal in continuous casting. Radio Electronics, Computer Science, Control. – pp. 197-211. DOI: 10.15588/1607-3274-2024-3-17

6. Danylenko, M. M., & et al. (2025). Comparative analysis of modern SCADA packages for production automation. International Journal of Academic Engineering Research (IJAER). – Vol. 9. – 2. – pp. 26-34

7. Sotnik, S. V. (2024). Features of using REST architecture for development of ARS for information systems. Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи в управлінні проектами та програмами», Коблево, 9–13 вересня 2024 р. Збірник праць. – Харків: ХНУРЕ. – pp. 42 – 45

8. Khalimonov, Y. I., & et al. (2024). Integration of IoT into security systems: opportunities and risks. Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих учених, 20 листоп. 2024 р. – pp. 117-121

9. Lykho, T. A. & et al. (2024). Pattern recognition and computer vision technologies in decision support systems of robotic systems. Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation – 2024». – pp. 645-648

10. Khalimonov, Y., & et al. (2024). Approaches to ensuring proper working conditions using sensor technologies IoT. International Conference «DIGITAL INNOVATION & SUSTAINABLE DEVELOPMENT 2024», 2024 – pp. 24-25

11. Sotnik, S. (2024). Integration of IoT into security systems: opportunities and risks. International Journal of Academic Engineering Research (IJAER), 2024. – Vol. 8, Issue 11. – pp. 56-61

ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ЦИФРОВИХ РІШЕНЬ У ІНФРАСТРУКТУРУ ЗАКЛАДІВ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

В.О. Михайлов, І.В. Білецький

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Україна, 61002, Харків, вул. Черноглазівська, 17

E-mail: valerii.mykhailov@kname.edu.ua

Анотація: Розвиток сталих і розумних міст вимагає впровадження інноваційних цифрових рішень у критично важливу інфраструктуру, зокрема в систему постачання кисню. У цій публікації розглядається розробка моделі моніторингу та управління витратами розподільчої системи киснево-повітряної суміші з використанням цифрових близнюків. Запропонований підхід базується на технологіях Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту та аналітики великих даних.

Ключові слова: киснево-повітряна суміш, розумні міста, медична інфраструктура.

Однією з ключових складових медичної інфраструктури є система постачання кисню, яка забезпечує життєво необхідну підтримку пацієнтів у лікарнях та інших медичних закладах. Медичний кисень відіграє важливу роль у лікуванні багатьох станів, включаючи респіраторні захворювання (COVID-19, хронічну обструктивну хворобу легень, пневмонію), хірургічні втручання та інтенсивну терапію, екстрену медичну допомогу (швидку допомогу, реанімаційні відділення). Існуючі методи забезпечення киснем мають суттєві недоліки, що пов'язано з залежністю від зовнішніх постачальників централізованих систем (з використанням рідкого кисню або балонів); високою вартістю транспортування та зберігання кисню, особливо у віддалених регіонах; недостатньою гнучкістю у реагуванні на зміну попиту, що стало особливо помітним під час пандемії COVID-19. З огляду на виклики, пов'язані з управлінням кисневою інфраструктурою у медичних закладах, та можливості, які відкривають цифрові технології, розробка моделі моніторингу та управління витратами киснево-повітряної суміші на основі цифрових близнюків є надзвичайно актуальною.

Сучасні системи медичного кисневого забезпечення включають централізовані системи подачі рідкого кисню, балонні системи, кисневі концентратори. Ефективними для великих лікарень є централізовані системи подачі рідкого кисню, однак вони потребують складної інфраструктури. Балонні системи – мобільні, але мають обмежений ресурс і вимагають частих замін. Кисневі концентратори виробляють кисень на місці використання, зменшуючи залежність від зовнішніх постачальників; знижуючи витрати на транспортування та зберігання; гнучко адаптуючи подачу кисню до реального попиту. Сьогодні все більше медичних установ переходять до локальної генерації кисню за допомогою кисневих концентраторів та генераторів.

Основним викликом при використанні кисневих концентраторів є створення контрольованої суміші кисню та повітря із заданими параметрами концентрації. Традиційні методи змішування (мембранні, механічні) мають обмеження у швидкості реакції на зміни споживання. У роботі пропонується використання ежекції – процесу, за якого потік стисненого повітря створює розрідження, що дозволяє дозовано втягувати кисень із концентратора. Основними перевагами такого підходу є автоматичне регулювання співвідношення кисню та повітря залежно від параметрів подачі; відсутність потреби у складних електронних регуляторах та висока енергоефективність, оскільки використовується кінетична енергія повітряного потоку.

Конструкція ежектора включає дифузор для прискорення стисненого повітря, камеру змішування, де відбувається втягування кисню, та вихідний дифузор, що стабілізує сформовану суміш. Процес ежекції описується рівняннями Бернуллі та Нав'є-Стокса. Для визначення оптимальних параметрів подачі використовуються рівняння:

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2},$$

де P_1, P_2 – тиск у зоні входу та виходу,

v_1, v_2 – швидкість потоку,

ρ – густина газу

На основі цих рівнянь виконано моделювання впливу геометрії ежектора на параметри потоку, що дозволило визначити оптимальні конструктивні рішення. Було проведено серію експериментів для оцінки ефективності запропонованого методу, які показали стабільність концентрації кисню у межах 40 – 60 % при змінному навантаженні, зменшення втрат енергії на 15 % у порівнянні з традиційними методами змішування, підвищення швидкості реакції системи на зміну потреби в кисні. Отримані результати підтверджують ефективність використання ежекційного методу в системах медичного газопостачання.

Впровадження моделі моніторингу та управління витратами розподільчої системи киснево-повітряної суміші потребує ефективного моніторингу та управління. Недостатній контроль за витратами кисню може призвести до перевитрат або недостатнього забезпечення пацієнтів. Відсутність автоматизованих механізмів регулювання потоків у розподільчій мережі може викликати нерівномірність подачі кисню. Недостатня аналітика та прогнозування можуть ускладнювати оперативне планування постачання. Одним із перспективних підходів до вирішення зазначених проблем є використання технології цифрових близнюків (Digital Twins). Технологія передбачає створення віртуальної моделі фізичної системи, яка в режимі реального часу синхронізується з даними сенсорів та аналітичними алгоритмами. Застосування цифрових близнюків у системах розподілу киснево-повітряної суміші дозволяє моніторити стан мережі в режимі реального часу (контроль тиску, концентрації кисню, витрат газової суміші); прогнозувати споживання кисню на основі історичних даних та алгоритмів машинного навчання; автоматично оптимізувати подачу кисню, регулюючи потоки відповідно до актуальних потреб; знижувати експлуатаційні витрати, запобігаючи зайвим втратам та аварійним ситуаціям.

Запропонована нами модель моніторингу стану та управління витратами розподільчої системи киснево-повітряної суміші з інтегрованими кисневими генераторами складається з трьох рівнів, а саме, збору даних, аналітичного рівня та управління та візуалізації. На рівні збору даних застосовуються IoT-сенсори для моніторингу тиску, концентрації кисню, витрат повітря, а також контролери для управління подачею киснево-повітряної суміші. Аналітичний рівень передбачає використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування споживання кисню. Оптимізація витрат досягається за допомогою математичних моделей. Рівень управління та візуалізації базується на вживанні інтерактивних дашбордів для відображення поточного стану системи і автоматизованих рішень для регулювання потоків кисню.

ВИСНОВКИ. Впровадження розробленої моделі моніторингу та управління витратами киснево-повітряної суміші сприяє досягненню ключових цілей сталого розвитку (Sustainable Development Goals, SDGs). Підвищується якість медичних послуг, покращується здоров'я пацієнтів та забезпечується стійкість медичних закладів, що є ключовими аспектами SDG 3 «Good Health and Well-Being» («Міцне здоров'я і благополуччя»). Знижуються витрати на енергоспоживання в медичних закладах, відбувається оптимізація споживання енергоресурсів та загальний перехід до чистої, сталої і ефективної енергетики, що відповідає ключовим завданням SDG 7 «Affordable and Clean Energy» («Доступна та чиста енергія»). Відбувається розбудова інтелектуальної інфраструктури в рамках концепції розумних міст SDG 11 «Sustainable Cities and Communities» («Сталий розвиток міст і спільнот»), забезпечується ефективність, безперебійність та стійкість медичної інфраструктури, що допомагає зробити міста безпечнішими, більш екологічними, стійкими до криз та зручними для життя.

ЖИТЕПАТЫПА

1. **World Health Organization (WHO).** (2021). *Oxygen sources and distribution for COVID-19 treatment centres*. Geneva: WHO Press. <https://www.who.int/publications/i/item/oxygen-sources-and-distribution-for-covid-19-treatment-centres>

МЕХАНІЗМ ДІЇ РИЗИК-ОРІЄНТОВАНОГО МИСЛЕННЯ У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ТА БЕЗПЕКИ ЦЕНТРАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ПУНКТІВ

К.С. Редькін, Д.А. Янушкевич, Л.С. Іванов

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: kyrylo.redkin@nure.ua

Анотація: Метою роботи є підвищенні ефективності систем управління якістю та безпеки центральних теплових пунктів (ЦТП). У сучасних умовах енергетичної кризи та зростання вартості енергоносіїв, питання ефективного теплопостачання стає дуже важливим. ЦТП є ключовими складовими систем централізованого теплопостачання, які відповідають за розподіл і регулювання тепла. Адекватна адаптація системи управління ЦТП до трансформацій зовнішнього середовища можлива лише за умов ризик-орієнтованого мислення яке спрямоване на управління безпекою його розвитку.

Ключові слова: центральний тепловий пункт, ризик-орієнтоване мислення, якість, безпека, невідповідність.

У сучасних умовах енергетичної кризи та зростання вартості енергоносіїв питання ефективного теплопостачання стає дуже важливим. Центральні теплові пункти (ЦТП) є ключовими складовими систем централізованого теплопостачання, які відповідають за розподіл і регулювання тепла. Однак застаріле обладнання та лише часткова автоматизація багатьох ЦТП в Україні призводять до значних енергетичних втрат, неефективного використання ресурсів та незадоволення споживачами щодо якості послуг. Тому на сьогоднішньому етапі дуже актуальною стала потреба у модернізації і повноцінній автоматизації ЦТП з метою забезпечення ефективності, надійності та комфорту для споживачів.

Проблеми неефективного функціонування централізованих систем теплопостачання в Україні стали критичними протягом останніх 30 років. Ми спостерігаємо масовий перехід промислових і побутових споживачів на індивідуальне опалення через високі ціни і низьку якість послуг центральних теплоелектростанцій. Цей тренд призводить до зменшення ефективності ТЕС.

Такий розвиток подій загрожує не лише енергетичній безпеці країни, але й екологічній ситуації у містах. Тому необхідна модернізація ЦТП з імплементацією сучасних автоматизованих систем управління – актуальне завдання для полегшення ефективного використання енергоресурсів, мінімізації втрат тепла, оптимізації витрат на обслуговування і повернення довіри споживачів до централізованого теплопостачання. ЦТП є складною системою, діяльність якої відбувається в ризикованому середовищі. Невизначеність оточення та, як наслідок цього, непередбачуваність управлінських процесів, які повинні відбуватися з виникненням ризиків всіх видів діяльності, супроводжують функціонування кожного підприємства від їх створення протягом всього життєвого циклу. Адекватна адаптація системи управління ЦТП до трансформацій зовнішнього середовища можлива лише за умов ризик-орієнтованого мислення яке спрямоване на управління безпекою його розвитку.

Підставою для формування та становлення ризик-орієнтованого мислення, як складової системи управління якістю підприємства, є стандарт ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги» (ISO 9001:2015 «Quality management systems – Requirements», IDT). Він спонукає підприємства приділяти більше уваги факторам системи управління якістю в рамках підходу, заснованого на аналізі ризиків. Поняття «ризик-орієнтоване мислення» охоплює:

- виконання запобіжних дій для усунення потенційних невідповідностей;
- аналізування будь-яких невідповідностей, що виникають;

– вживання заходів для запобігання їх повторному виникненню, які є відповідними до наслідків невідповідності.

Основою ризик-орієнтованого мислення є прийняття рішення в умовах невизначеності. На рис. 1 наведено механізм дії ризик-орієнтованого мислення в системі управління якістю та безпеки ЦТП.

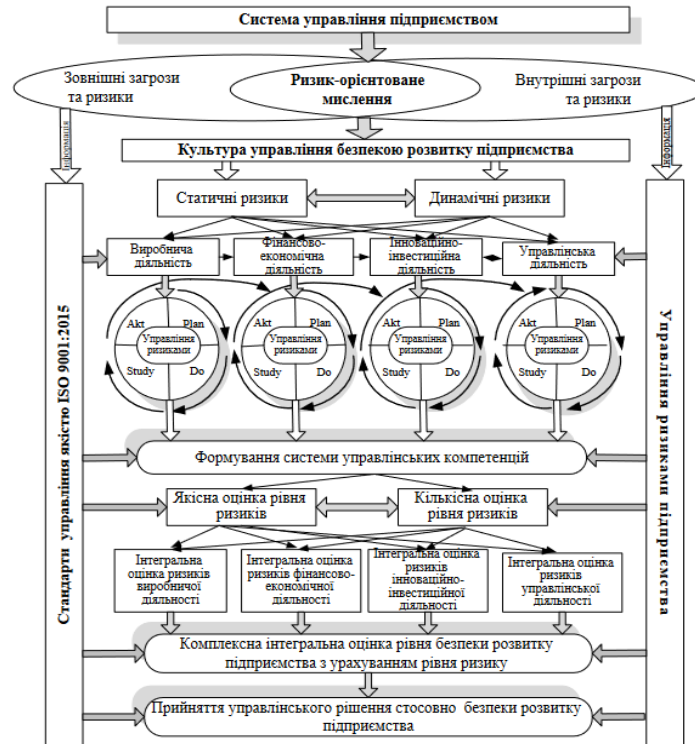


Рисунок 1 – Механізм дії ризик-орієнтованого мислення в системі управління ЦТП

Процес управління ризиком повинен включати такі етапи:

1. Ідентифікація ризиків.
2. Аналіз і оцінка ризиків.
3. Розроблення заходів щодо управління ризиками.
4. Моніторинг і оперативне управління ризиками.

Застосування ризик-орієнтованого мислення дасть можливість підвищити ефективність управління системою управління якістю та безпекою центральних теплових пунктів та може слугувати основою подальшого його розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розвиток систем управління якістю підприємств на базі концепції Industry 4.0 / Д. А. Янушкевич, Л. С. Іванов // Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Харків, ХНАДУ, 2021. – С. 109-114.

2. Автоматизація процесу управління якістю підприємства / Л. С. Іванов, Д. А. Янушкевич // Якість, стандартизація та метрологічне забезпечення: [матеріали міжнародної науково-практичної конференції, Харків - 25-26 січня 2022 року]. - Українська інженерно-педагогічна академія. Харків: УПА, 2022. – С. 56-57.

AERIAL ROBOT IN URBAN ENVIRONMENTS

D. A. Sukhomlinova, S. V. Sotnik

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: diana.sukhomlinova@nure.ua

Annotation: The study is devoted to the analysis of modern opportunities and prospects for the use of aerial robots in the urban environment. Key areas of their use, including logistics, infrastructure monitoring, environmental control, and emergency response, are considered. The materials of the study emphasize the transformative potential of aerial robots for the development of «smart cities», as well as the need for further interdisciplinary research to fully realize their capabilities.

Key words: aerial robots, unmanned aerial vehicles, urban environment, autonomous systems, AI.

The relevance of the topic of aerial robots in the urban environment is due to the rapid development of unmanned aerial vehicle technologies and their integration into various spheres of life of modern megacities. In cities where population density and infrastructure load are constantly increasing, aerial work is becoming an effective tool for solving many tasks – from monitoring traffic flows and environmental status to cargo delivery and emergency services. The growing demand for fast and automated solutions in an urbanized environment makes aerial robots indispensable assistants [1-7]. They allow you to reduce the load on ground infrastructure, increase logistics efficiency, and ensure prompt response in emergency situations. In addition, the development of artificial intelligence and autonomous control systems opens up new prospects for their use, for example, in the field of «smart cities» and innovative services. Thus, exploring the opportunities and challenges associated with the application of aerial robots in urban space is extremely important for the further implementation of future technologies in everyday life.

Air robots are already used today for infrastructure monitoring, cargo delivery, environmental data collection, search and rescue operations, and law enforcement. They allow you to obtain information in real time, reducing the cost of time and resources compared to traditional methods [8-10]. Unmanned systems are able to work autonomously thanks to artificial intelligence, computer vision, and precise navigation. This makes them effective in narrow spaces of the city, where maneuverability and reaction speed are important. The main concerns remain air traffic safety, data privacy, legal regulation, and technical limitations (e.g. battery autonomy). Cities need adapted infrastructure, such as aerial robots overports and air traffic management systems. The paper analyzes the main manufacturers of aerial robots and their key features (Table 1).

Table 1 – Analyzes the main manufacturers of aerial robots and their key features

Manufacturer / Brand	Main models	Features and areas of application
DJI (China)	Mavic 3, Matrice 300, Phantom 4 RTK	Market leader. Aerial robots for aerial photography, video shooting, agricultural technology, search and rescue operations. High stability, long flight time, advanced artificial intelligence functions.
Parrot (France)	Anafi, ANAFI USA	Lightweight compact aerial robots for commercial and military use. Thermal imager support, modularity.
Skydio (USA)	Skydio 2, X10	Autonomous aerial robots with a unique obstacle avoidance system. They are used in infrastructure and security inspections.

Continuation of Table 1

Manufacturer	Main models	Features and areas of application
Autel Robotics (China)	EVO Max 4T, EVO Lite+	Powerful aerial robots with thermal imaging cameras, suitable for emergency services, police, construction.
Wing (USA)	Unmanned delivery systems	Specialization in courier aerial robots (delivery of goods). Works in partnership with chains (for example, Walgreens).
Zipline (USA)	Creates specialized autonomous systems for medical delivery	Medical delivery (blood, vaccines) to hard-to-reach regions. Drones with vertical take-off and parachuting of cargo.

So, DJI dominates the civilian aerial robot market, but faces restrictions in some countries due to data security issues. Skydio is relevant to the U.S. because of its local production and government support. Wing and Zipline are examples of niche solutions that show the potential of drones in logistics.

CONCLUSIONS. Today's cities face numerous challenges related to increasing population density, infrastructure strain, and the need for operational solutions. In this context, aerial works show significant potential as an innovative tool for optimizing urban processes. The study confirms that unmanned technologies are already being effectively used today in areas such as infrastructure monitoring, emergency response, cargo delivery and environmental control. Their ability to work autonomously thanks to the integration of artificial intelligence, computer vision, and precision navigation makes them especially valuable in confined urban spaces. However, the large-scale introduction of aerial robots requires overcoming a number of technical and regulatory barriers. Key challenges include ensuring air traffic safety, developing adapted infrastructure (e.g. drone heliports), as well as addressing data privacy issues.

REFERENCES:

1. Andreiev, A. S., & et al. (2024). Analysis of robotics platforms for educational and research purposes. Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації - 2024 / Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Одеса, 26-27 вересня 2024 р. – pp. 25-27
2. Zarubin, I., & et al. (2024). Basic principles of building aerial robots. Manufacturing & Mechatronic Systems 2024: Proceedings of VIII st International Conference, Kharkiv, October 25-26. – pp. 32-36
3. Andreiev, A., & et al. (2024). Comparative analysis of robotics platform: Webots, Coppeliassim and Gazebo. Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: Тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції (10-12 грудня 2024 р., м. Запоріжжя). [Електронний ресурс] /Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». – С. 96-100
4. Sotnik, S. V., & et al. (2024). Modeling design of mobile robotic platform. Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 18-19 квітня 2024 р. – pp. 481-482
5. Sotnik, S. V., & et al. (2023). Safe cobots in development of industrial robotics. Diss. Barca Academy Publishing. The 8th International scientific and practical conference “European scientific congress”. – pp. 201-205
6. Зарубін, І. С., та інші. (2024). Ефективність використання роботизованих систем у виробництві. Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки 2024: матеріали I-ої Всеукраїнської конференції, Харків, 16-17 травня 2024 (CITAR-2024). – pp. 150-153
7. Lyashenko, V., & et al. (2021). Semantic Model Workspace Industrial Robot. IJARW Journals. – Vol. 5. – Issue 9. – pp. 40-48

8. Lykho, T.A., & et al. (2024). Pattern recognition and computer vision technologies in decision support systems of robotic systems. Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation – 2024». – pp. 645-648
9. Sotnik, S. V., & et al. (2022). Prospects for Introduction of Robotics in Service. International Journal of Academic Engineering Research. – Vol. 6. – Iss. 5. – pp. 4-9
10. Lashyn, Z. V., et al. (2024). Automation capabilities of equipment with built-in robot for manufacture of microelectronics products. Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation – 2024». – pp. 283-286

THE AUTOMATION SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF MATERIALS, SEMI-FINISHED PRODUCTS AND FINISHED PRODUCTS IN LOGISTICS PRODUCTION PROCESSES

Ruslan Faryha, Olena Chala

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: ruslan.faryha@nure.ua, olena.chala@nure.ua

Annotation: This paper considers the development of an automation system for the production of materials, semi-finished products and finished products in logistics production processes. The proposed system improves control and management of resources, increasing the efficiency of logistics operations. Modern automation approaches are used, including integration with ERP systems and the use of IoT solutions.

Key words: Industry 4.0, robotics, production processes, automation system, development, control and management of resources.

Modern manufacturing enterprises face challenges associated with accounting for materials, semi-finished products and finished products. The lack of effective automation can lead to loss of resources, errors in reporting and reduced productivity. The method of this study is the development of systems that allow optimizing posting processes [1-5].

Introduction

Modern manufacturing enterprises face challenges associated with accounting for materials, semi-finished products and finished products. The lack of effective automation can lead to loss of resources, errors in reporting and reduced productivity [3]. The method of this study is the development of systems that allow optimizing posting processes.

Methodology

The following methods were used during the development:

- Analysis of requirements for the resource management system;
- Design of the architecture of the automated system;
- Selection of technologies and software development;
- Integration with existing enterprise information systems.

Main part

The proposed system includes:

- Database for storing information about materials;
- Automated workplace for data entry and control;
- Reporting module that generates analytical data for managers;
- Integration with RFID tags and barcode scanners for automatic posting.

The system architecture consists of a server part, a client interface and an API for interaction with other information systems [2,5].

The architecture of an automated materials accounting system consists of three main components:

1. Server part

- Responsible for processing requests, executing business logic, and storing data.
- Includes a database, application server, security and backup mechanisms.
- Processes incoming requests from clients and API requests from other information systems.

2. interface

- Designed for user interaction with the system via a web application or mobile application.
- Allows you to view balances, post materials, create and edit records, and generate reports.
- Provides simple and convenient access to system functionality.

3. API for interaction with other information systems

- Used for integration with ERP systems, warehouse platforms, and supplier systems

- Implemented via REST or SOAP protocols for fast data exchange between systems. are presented in Table 1.
- Allows you to automate information exchange processes between enterprises.

Table 1 - REST or SOAP protocols for fast data exchange between systems.

Component	Description	Technology
Server part	Request processing, data storage and management	PostgreSQL, Node.js,
Client interface	User interaction with the system	Python
API	Integration with other information systems	React, Angular, Vue.js REST, SOAP, GraphQL

Additional aspects

To ensure security and reliability, the system implements:

- Data encryption to protect confidential information;
- User access rights separation;
- Automated backup and recovery mechanisms;
- Cloud infrastructure for scalability.

Further improvement is possible through the implementation of artificial intelligence to predict material needs. Example of a materials accounting table are presented in Table 2..

Table 2 - Example of a materials accounting table

Material type	Number	Storage location	Provider
Sheet steel	500 kg	Composition A	SteelCorp Ltd.
Aluminum rods	300 pcs	Composition B	MetalWorks
Plastic granules	1000 kg	Composition C	PolyPlast Inc.
Electronic chips	5000 pcs	Composition D	TechComponents

Conclusions: The developed automation system allows to increase the accuracy and speed of materials accounting, reduce the influence of the human factor and integrate resource accounting with the general ERP system of the enterprise. Further research can be aimed at implementing artificial intelligence technologies for

References:

- 1 Chala , O., Maksymova , S., & Alkhalaileh , A. (2024). Analysis of Systems for Coordination of Enterprise Subsystems Control. *Journal of Universal Science Research*, 2(10), 127–137. Retrieved from <https://inlibrary.uz/index.php/universal-scientific-research/article/view/59001>
2. Basiuk, V., & et al. (2024). Command System for Movement Control Development. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(6), 248-255.
3. Nevliudov, I., Vzheshnievskiy, M., Romashov, Y., & Chala, O. (2023). Mathematical modeling of mechatronic shuttles as automation objects for multilevel systems of intra-warehouse logistics. *INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES*, (4(26), 135–144. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.26.135>
4. Lighting Control Module Development / Y. Vizir, O. Chala, S. Maksymova, Ahmad Alkhalaileh // *Journal of Universal Science Research*. – 2023. – № 1(12). – P. 645–657.
5. Automated System Development for the Printed Circuit Boards Optical Inspection Using Machine Learning Methods / I. Nevliudov, I. Botsman, O. Chala, K. Khrustalev // *INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (IST'2021) : proceedings of the 10-th International Scientific and Technical Conference, September 13-19, Odessa, 2021*. – P. 234-238.

MATHEMATICAL MODELLING OF AUTOMATION OBJECTS THROUGH PARAMETRIC IDENTIFICATION AND DIGITAL TWINS

A.O. Fesenko, I. V. Kolupaieva, Yu. V. Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: alina.fesenko@nure.ua, iryna.kolupaieva@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The paper considers mathematical modelling of automation objects using linear differential equations, parametric identification, and digital twins. The dynamics of the object model is described through the relationship between the controlled parameter $x(t)$ and the control parameter $u(t)$. Accurate determination of coefficients based on experimental data allows us to adequately reproduce the dynamics of the system and promptly respond to changing operating conditions. Continuous monitoring, forecasting, and optimization of operating modes is facilitated by the integration of digital twins, which are constantly updated using data from sensors and SCADA systems. For high-tech and critical industries of Industry 4.0, it is very important that the synergy of these approaches increases the efficiency, reliability, and safety of automation object management.

Key words: smart cities, automation objects, modelling, parametric identification, digital twins.

RELEVANCE OF RESEARCHES. With the development of high-tech industries and the introduction of automation in the context of Industry 4.0, mathematical modelling of automation objects is gaining considerable popularity. These approaches are used in manufacturing, energy, transport, and monitoring of complex systems. The key aspect is the accurate reproduction of the object's dynamics and effective process control using parametric identification and digital twins. The first allows you to determine unknown model coefficients based on experimental data, and the second allows you to quickly monitor and predict the state of the object in real time. Taking into account different operational requirements, it is necessary to adapt and improve these methods to increase the accuracy, speed of modelling, and productivity of automation systems.

MATERIALS AND RESULTS OF RESEARCHES. The principal property inherent for automation objects is that some state of this automation object must be provided by means related suitable influences on this automated object. The parameter envisaged to define the state of the automation object is the controlled parameter, but the parameter defining the influences on the automation object is the controlling parameter. Thus, if the considered phenomenon represents exactly the automation object, then the controlled and controlling parameters must be introduced necessarily. The processes inherent for automation objects can have different nature, so to represent generally mathematical models of automation objects, it is necessary to use correspondent abstract mathematical notions. Taking into account the necessarily introduced controlled and controlling parameters, the mathematical model of the automation object can be represented generally by the following mapping:

$$u(t) \rightarrow x(t), \quad (1)$$

where t is the time defining changes of the state of the automation object during the time; $x = x(t)$ is the controlled parameter, and $u = u(t)$ is the controlling parameter of the automation object.

In the general case, the mapping (1) is given by means the linear ordinary differential equation:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = u(t), \quad (2)$$

where n, a_n, \dots, a_1, a_0 are numbers, whose are the parameters of the mathematical model.

The construction of the differential equation (2) is reduced to determining its order and parameters. The order n is determined by expert estimates based on the analysis of processes inherent for the

automation object. It is proposed to determine the parameters of the mathematical model (2) by means the parametric identification:

$$u(t), x(t) \rightarrow a_n, \dots, a_1, a_0, \quad (3)$$

where $u(t)$ and the corresponding $x(t)$ are traditionally taken from experiments (tests).

The idea is to form the data about $u(t)$ and the corresponding $x(t)$ parameters by using digital twins of the processes inherent in the automation object. The parametric identification is a set of methods that allow finding unknown parameters of a mathematical model based on measurement data of input and output signals of the system. The combination of classical least squares methods with computational intelligence algorithms allows to significantly increase the accuracy of determining parameters in real production conditions. The study emphasizes the importance of high-performance data collection and processing for identifying models of complex objects, since this directly affects the speed and accuracy of setting up the control system. Thanks to effective identification, the resulting model makes it possible to assess the change in the state of the object in dynamics; predict possible deviations or critical operating modes; promptly adjust control actions.

Digital twins create a virtual replica of a physical product, process or system. The replica can for example predict when a machine will fail, based on data analysis, which allows to increase productivity through predictive maintenance [1]. An important feature of the software analogue of a physical device, which models the internal processes, technical characteristics and behavior of a real object under the influence of obstacles and the external environment, is the assignment of input influences. A virtual model of a physical object, which is updated in real time based on data from sensors, SCADA systems and other sources, allows you to constantly monitor the condition of the object; optimize the maintenance plan; test various control scenarios without risk to the equipment; increase the accuracy of identification and provide preventive diagnostics. The study emphasizes the importance of integrating digital twins with parametric identification methods: when the object model is promptly adjusted as a result of data updates, this provides increased accuracy and flexibility of the control system. As a result, the "identified" model can serve as the core of a digital twin. This allows for the most accurate reproduction of the dynamics of the automation object and calculations of various operating modes without stopping real production.

CONCLUSIONS. Thus, mathematical modelling of automation objects through linear differential equations, parametric identification and digital twins is a key direction in the development of modern control technologies. The linear model adequately reproduces the dynamics of the automation object provided that the coefficients are accurately determined, which are adjusted using parametric identification based on experimental data. The integration of digital twins allows you to continuously update model parameters, predict and optimize operating modes in real time, which increases the reliability and speed of decision-making. This synergistic approach is especially relevant for high-tech industries in the context of Industry 4.0, and further research should focus on improving identification algorithms and expanding the functionality of digital twins for complex multi-factor systems.

REFERENCES:

1. Commission, 'COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A European strategy for data' (Communication) COM(2020)66 final. URL: <https://op.europa.eu/s/z4xo>
2. Mamalis, A. G., Nevliudov, I., & Romashov, Y. (2021). An approach for numerical simulating and processing of measured electrical signals from board sensors installed on wheeled electro-

mechanical platforms. *Journal of Instrumentation*. Vol. 16, no. 10. Article ID P10006. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/16/10/p10006>

3. Kolupaieva, I., Nevliudov, I., Romashov, Y., Tiesheva, L., & Vértesy, L. (2024). Intelligent Automated Control in Accordance with Resource Efficiency Criteria toward Circular Economy Transition. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1089 LNNS, pp. 133–141, https://doi.org/10.1007/978-3-031-67195-1_17

4. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.

5. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.

6. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.

7. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.

8. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.

9. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.

10. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 8.

11. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Calculation of the Distance to Objects in Collaborative Robots Workspace Using Computer Vision. *Journal of universal science research*, 2(11), 240-255.

12. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gurin, D., & Alkhalailah, A. (2024). Data Fusion Research for Collaborative Robots-Manipulators within Industry 5.0. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 1(4), 125-137.

13. Yevsieiev, V., Alkhalailah, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.

CIRCULAR ECONOMY IN AUTOMATED SYSTEMS

Y. I. Khalimonov, S. V. Sotnik

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: yan.khalimonov@nure.ua

Annotation: Circular economics in automated transfer systems are moving from a linear model to cyclical development of resources related to technologies: SHI, IoT, robotics, blockchain and 3D tools. They will optimize production, automate the processing of products, ensure the transparency of supply lines and the production of products with a development for future disposal. The price of the world's most important is the cost of new economic opportunities.

Key words: circular economy, automated systems, piece intelligence, IoT.

Today's circular economy is a key tool for the use of global environmental and economic instruments. The traditional linear model of "vikoristav-wikinov" is no longer conducive to the needs of the fulfillment, where the resources are very important, and the approaches and burdens reach critical levels. Changes in the climate, degradation of ecosystems and toxic damage to landfills are the only part of the consequences, which can be re-absorbed in the process of production and production.

Circular economics leads to systems, materials and energy are cyclically wasted (Fig. 1). The goal is not devoid of an ecological initiative, an economic strategy. Business models, based on repeated maintenance, recycling and repair, distorting new markets, reducing the cost of production and increasing the competitiveness of companies. The company-manufacturer of electronics, as a new product of the old technology, has been invested in the production of new additions and has been constantly forming the loyalty of the customers, which is valuable in the future.

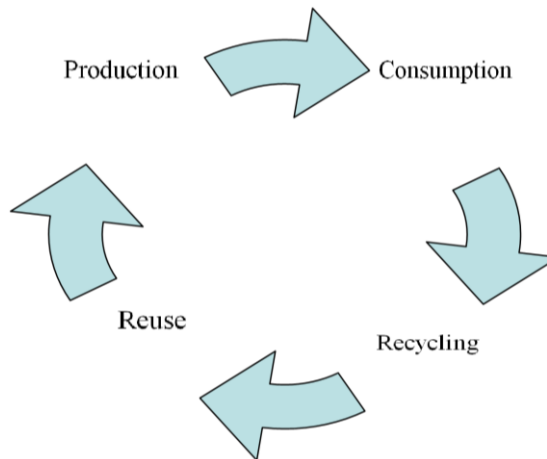


Figure 1 – Representation of the circular economy closed cycle

The introduction of automation and digital technologies plays a crucial role in transforming the circular economy from concept to practice. Automated systems such as artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), or robotic lines allow optimizing resource utilization at all stages of the product lifecycle [1-8]. For example, IoT sensors can monitor the condition of equipment in real time, predicting its wear and tear and preventing premature failure. Not only does this reduce waste, but it also promotes rental or service models where durability is prioritized over disposable.

Automation is also revolutionizing waste recycling and sorting. Robots with computer vision and machine learning can identify and separate different types of materials (plastic, metal, glass) with high precision, making the process more efficient and less energy-consuming [9, 10]. Such systems

are already used in modern waste processing plants, where they replace manual labor, reducing costs and increasing the volume of secondary raw materials.

In addition, blockchain- or cloud-based digital platforms provide transparency to supply chains. Manufacturers, consumers and processors gain access to data on the origin of materials, their composition and the possibility of reuse. This creates conditions for closed loops, where each element of the system interacts with others, minimizing losses. An important aspect is the integration of circular principles into «smart» production. In factories that use 3D printing or adaptive technology, it is possible to manufacture parts from recycled materials, exactly matching the needs, without redundancy. Automated systems also help design products with their future disassembly and recycling in mind, which is the basis of eco-design.

CONCLUSIONS. Thus, automation doesn't just speed up processes – it makes the circular economy scalable and cost-effective. Technology becomes a bridge between environmental responsibility and efficiency, turning the idea of "restore instead of destroy" into the new normal for business and society. The use of artificial intelligence, IoT, robotics, and blockchain allows you to optimize resources, predict equipment wear, automate waste sorting, and ensure transparency in supply chains. The integration of 3D printing, eco-design and adaptive technologies contributes to the creation of products suitable for reuse and recycling. Automation turns circular principles into cost-effective practices, combining efficiency with reduced environmental impact. This forms the basis of sustainable development, where technology becomes the key to recovering resources instead of destroying them.

REFERENCES:

1. Polikanov, K., & et al. (2024). Smart home with house module: overview of automation technologies. International Conference «DIGITAL INNOVATION & SUSTAINABLE DEVELOPMENT 2024». – pp. 20-21
2. Sotnik, S. (2024). Integration of IoT into security systems: opportunities and risks. International Journal of Academic Engineering Research (IJAER), 2024. – Vol. 8, Issue 11. – pp. 56-61
3. Khalimonov, Y. I., & et al. (2024). Integration of IoT into security systems: opportunities and risks. Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві: матеріали всеукр. наук.-практ. конф. здобувачів вищ. освіти і молодих учених, 20 листоп. 2024 р. – pp. 117-121
4. Lashyn, Z. V., & et al. (2024). Automation capabilities of equipment with built-in robot for manufacture of microelectronics products. Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation – 2024». – pp. 283-286
5. Andreiev, A. S., & et al. (2024). Analysis of robotics platforms for educational and research purposes. Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації - 2024 / Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів, Одеса, 26-27 вересня 2024 р. – pp. 25-27
6. Zarubin, I., & et al. (2024). Basic principles of building aerial robots. Manufacturing & Mechatronic Systems 2024: Proceedings of VIII st International Conference, Kharkiv, October 25-26. – pp. 32-36
7. Andreiev, A., & et al. (2024). Comparative analysis of robotics platform: Webots, Coppeliassim and Gazebo. Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: Тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції (10-12 грудня 2024 р., м. Запоріжжя). [Електронний ресурс] /Електрон. дані. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». – С. 96-100
8. Sotnik, S. V., & et al. (2024). Modeling design of mobile robotic platform. Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. Одеса, 18-19 квітня 2024 р. – pp. 481-482

9. Sotnik, S. & et al. (2024). Modeling of potting greenhouse design. Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій / Матеріали XXIV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів. – pp. 483-484
10. Lykho, T.A., & et al. (2024). Pattern recognition and computer vision technologies in decision support systems of robotic systems. Proceedings of the XVII International scientific and practical conference «Information technologies and automation – 2024». – pp. 645-648

POTENTIOMETER SENSORS OF AN ANGULAR ACCELERATION FOR RESEARCH ROBOTS TO BENCHMARK SMART CITIES APPLICATIONS

Maksym Cherkashyn, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: maksym.cherkashyn@nure.ua, iryna.kolupaieva@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The estimations of angular accelerations by means of the potentiometer sensors are considered in the context of the applications in small-scale research robotics prototypes for benchmarking of automation engineering's solutions to support full-scale implementations related with smart cities. It is proved, that potentiometer sensors are possible for instrumental estimations of angular accelerations, but it requires defining the first and second derivatives on the time of the measured voltage incorrect in Adamar's sense, so that it is necessary to propose the suitable regularisation approach to have reliable estimations for angular accelerations.

Key words: smart cities, automation benchmarks, angular acceleration, potentiometer` sensors.

RELEVANCE. Different robotics are involved in smart cities applications to exclude people from monotonous continuous operations and to provide the improved controls of different processes for energy and resource efficiencies to achieve sustainable prosperity and competitiveness of the EU next decades through implementations of green and digital technologies [1]. Automation engineering's solutions providing such improved controls require the suitable small-scale prototypes for reliable benchmarks, and these prototypes must be provided by the correspondent measuring systems, including to measure the angular accelerations of the rotating parts widely represented in the robotics. So, this research related with measurements of angular accelerations is relevant due to necessities in developments of suitable small-scale robotics prototypes for benchmarks of automation engineering's solutions before implementations in full-scale smart cities applications.

A benchmarking of engineering solutions for robotics is the relatively separate problem related including with the development of the suitable prototypes, as it is discussed in the research [2] for an example. The potentiometer sensors are widely discussed in scientific publications like in [3], and they are suitable to develop robotic prototypes for benchmarking of automation engineering solutions due to the accessibility and simple usages, and due to wide possibilities in simulations of digitalised products, whose are discussed in the research [4]. The purpose of this research is in developments of crucial principles for measurements of angular accelerations by means of the potentiometer sensors for applications in small-scale robotics prototypes to support benchmarking of solutions in automation engineering.

RESULTS. To measure angular accelerations, potentiometers with a circular resistive element and the rotated sliding contact are proposed to use in research robotics prototypes for benchmarking of solutions in engineering automation. Such potentiometer is indeed the variable voltage divider, providing the value of the divided voltage as the given function of the supplied voltage and the angle of the rotation of the potentiometer's shaft:

$$U = U_s K(\alpha), \quad (1)$$

where α is the rotation angle of the shaft of the potentiometer; U is the divided voltage; U_s is the voltage supplied for operating the scheme; $K(\alpha)$ is the function defining the dependence between the divided voltage and rotation angle of the shaft of potentiometer.

To measure the angular acceleration of some part of robotics, it is necessary to join this part with the shaft of the potentiometer. Suitable mechanical joints of the shaft of potentiometer with the rotating part of the robotics allow to have the relations between the corresponding angles:

$$\alpha = \alpha(\varphi), \quad (2)$$

where φ is the rotation angle of the part, whose angular acceleration must be measured by the potentiometer sensor with the divided voltage (1).

The relations (1) and (2) prove, that the variable divided voltage on the potentiometer is the composite function of the rotation angle of the considered part of robotics. The derivatives of the composite function (1), (2) have the following views:

$$\frac{dU}{dt} = U_s \frac{dK}{d\alpha} \frac{d\alpha}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt}, \quad \frac{d^2U}{dt^2} = U_s \left(\frac{d^2K}{d\alpha^2} \left(\frac{d\alpha}{d\varphi} \right)^2 + \frac{dK}{d\alpha} \frac{d^2\alpha}{d\varphi^2} \right) \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + U_s \frac{dK}{d\alpha} \frac{d\alpha}{d\varphi} \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (3)$$

The measured angular acceleration of the part is the second derivative of the rotation angle:

$$\varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}. \quad (4)$$

The first derivative of the rotation angle φ can be defined from the first relation (3), and taking into account the relation (4), it is possible to use the second relation (3) to find the angular acceleration:

$$\varepsilon = \frac{1}{U_s} \left(\frac{dK}{d\alpha} \frac{d\alpha}{d\varphi} \right)^{-1} \frac{d^2U}{dt^2} - \frac{1}{U_s^2} \left(\frac{dK}{d\alpha} \frac{d\alpha}{d\varphi} \right)^{-3} \left(\frac{d^2K}{d\alpha^2} \left(\frac{d\alpha}{d\varphi} \right)^2 + \frac{dK}{d\alpha} \frac{d^2\alpha}{d\varphi^2} \right) \frac{dU}{dt}. \quad (5)$$

To simplify the relation (5) it is recommended to use the linear potentiometer and the linear joints of the shaft of potentiometer with the rotating part:

$$\frac{d^2K}{d\alpha^2} = 0, \quad \frac{d^2\alpha}{d\varphi^2} = 0 \Rightarrow \varepsilon = \frac{1}{U_s} \left(\frac{dK}{d\alpha} \frac{d\alpha}{d\varphi} \right)^{-1} \frac{d^2U}{dt^2}. \quad (6)$$

The divided voltage (1) can be easily measured, but the results (5) and (6) shows that estimations of angular accelerations of the rotating part by means the joined potentiometer (1), (2) require first and second derivatives on the time of the measured voltage. At the same time, even high-quality measuring devices provide low errors to measure voltage do not allow defining the derivatives on the time for the measured voltage, because of differentiating a function is incorrect operation in Adamar's sense. Due to these circumstances, the relations (5) or (6) cannot be used directly, and it is necessary to develop the suitable regularisation procedure.

CONCLUSIONS. The potentiometer sensors are possible for instrumental estimations of angular accelerations due to the inherent opportunities in representing the estimated value through the related electrical voltage, which can be easily measured directly. At the same time, the principal difficulties in estimation of angular accelerations exist due to that it is required to define the first and second derivatives on the time of the measured voltage, so that the relation between the measured voltage and the estimated angular acceleration is incorrect in Adamar's sense, and cannot be used directly. So, to provide reliable estimations of angular accelerations by potentiometer sensors, it is necessary to propose the suitable regularisation approach, and further research is envisaged for it.

REFERENCES:

1. Leyen, U. (20124). European Commission and Directorate-General for Communication, Europe's choice – Political guidelines for the next European Commission 2024–2029. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 31 p. <https://doi.org/10.2775/260104>
2. Hietanen, A., Latokartano, J., Foi, A., Pieters, R., Kyrki, V., Lanz, M., & Kämäräinen, J.-K. (2021). Benchmarking pose estimation for robot manipulation. *Robotics and Autonomous Systems*. Volume 143. Article ID 103810. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2021.103810>
3. Hua, H., Wu, X., Shi, N., Zhang, J., Zhao, C., & Zhu, Z. (2024). Design and evaluation of a novel dual-channel complementary potentiometer for rotation measurement. *Measurement*. Volume 230. Article ID 114548. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114548>

4. Kolupaieva, I., Nevliudov, I. & Romashov, Y. (2024) Electromechanical Systems Continuous Diagnostics Through Parametric Identification and Products Digitalization. 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1109/KHPIWEEK61434.2024.10878040>
5. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.
6. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.
7. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.
8. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.
9. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.
10. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.
11. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 8.
12. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Calculation of the Distance to Objects in Collaborative Robots Workspace Using Computer Vision. *Journal of universal science research*, 2(11), 240-255.
13. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gurin, D., & Alkhalailah, A. (2024). Data Fusion Research for Collaborative Robots-Manipulators within Industry 5.0. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 1(4), 125-137.
14. Yevsieiev, V., Alkhalailah, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.
15. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОМП'ЮТЕРНОГО АДМІНІСТРУВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

А.С. Норков, І.В. Білецький

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Україна, 61166, Харків, вул. Черноглазівська, 17

E-mail: Arsenii.Norkov@kname.edu.ua

Анотація: У роботі представлено розробку системи комп'ютерного адміністрування виробничого підприємства у вигляді веб-додатку як CRM-системи. Розглянуто автоматизацію управління взаємодією з робітниками та виробничими процесами. Визначено етапи проектування: аналіз потреб, створення веб-інтерфейсу CRM та тестування. Запропоновано інструменти для оптимізації взаємодії і виробництва. Підкреслено роль веб-додатку CRM у підвищенні ефективності підприємства.

Ключові слова: CRM-система, веб-додаток, автоматизація управління, бізнес-процес.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У сучасних умовах автоматизація управління виробничими підприємствами є ключовою для підвищення їхньої конкурентоспроможності, що робить розробку системи комп'ютерного адміністрування у вигляді CRM-системи надзвичайно актуальною. Метою дослідження є створення ефективного інструменту для оптимізації взаємодії з робітниками та внутрішніх процесів. Завдання роботи полягають у вирішенні проблем, пов'язаних із залежністю від російських CRM-аналогів, які мають обмеження в безпеці, оновленнях та адаптації до локальних потреб. Комп'ютерне адміністрування підприємства забезпечує централізоване управління даними, контроль операцій та оптимізацію ресурсів, що є ключовими факторами сталого розвитку. Розробка власної системи забезпечує незалежність, гнучкість і підвищення продуктивності підприємства.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. CRM-система (Customer Relationship Management) — це програмне забезпечення, призначене для автоматизації та управління взаємодією з клієнтами, а також оптимізації внутрішніх бізнес-процесів. Вона дозволяє централізовано зберігати дані про клієнтів, історію спілкування, замовлення та задачі, забезпечуючи структурований підхід до їх обробки.

На виробничому підприємстві використання CRM-системи корисне для адміністрування та організації взаємодії між працівниками з кількох причин. По-перше, вона спрощує координацію між відділами (виробництво, продажі, логістика), надаючи єдину базу даних для відстеження замовлень і термінів. По-друге, CRM автоматизує рутинні задачі, як-от планування, звітність чи розподіл ресурсів, що зменшує навантаження на персонал і мінімізує помилки. По-третє, система сприяє ефективній комунікації між працівниками завдяки чіткому розподілу обов'язків і доступу до актуальної інформації в реальному часі. У підсумку, це підвищує продуктивність, покращує контроль над процесами та сприяє злагодженій роботі команди.

Структура підприємства – це склад і співвідношення його внутрішніх ланок, цехів, відділів, лабораторій та інших підрозділів, що складають єдиний господарський об'єкт.

Структура взаємодії між підрозділами підприємства на прикладі якого буде реалізоване система. На основі блок схеми (рис.1) можна визначити, що директор визначає стратегічні цілі та координує роботу всіх підрозділів.



Рисунок 1 – Структура підприємства

Операційний директор забезпечує виконання завдань, розподіляючи їх між Цехами, Логістикою та Відділом продажів. Цехи відповідають за виробництво, розподіляючи завдання між Дільницями, які, у свою чергу, організовують роботу на Робочих місцях. Логістика забезпечує цехи матеріалами та координує доставку готової продукції, співпрацюючи з Відділом продажів, який формує замовлення від клієнтів і передає їх у виробництво через операційного директора. Таким чином, підрозділи взаємодіють у чіткій ієрархії, забезпечуючи злагоджену роботу підприємства.

Етапи проектування системи. Аналіз потреб: На цьому етапі визначаються вимоги до системи шляхом вивчення бізнес-процесів підприємства, потреб працівників (директора, операційного директора, цехів, логістики, відділу продажів) та клієнтів. Збираються дані про необхідний функціонал CRM, наприклад, управління замовленнями, координація між підрозділами та звітність.

Створення веб-додатку CRM: Розробка системи включає створення монолітної структури з використанням надійний та перевірених часом ASP.NET для забезпечення доступу через браузер. Фреймворк дозволяє легко реалізувати складні функції CRM, такі як автоматизація процесів між підрозділами (наприклад, передача замовлень від відділу продажів до цехів), завдяки вбудованим інструментам для створення динамічних веб-інтерфейсів. База даних SQL Server використовується для зберігання інформації про клієнтів, замовлення, виробничі процеси та взаємодію між підрозділами. SQL Server бездоганно інтегрується з ASP.NET через ADO.NET та Entity Framework. SQL Server — це потужна реляційна база даних, яка ідеально підходить для зберігання та обробки великих обсягів структурованих даних, таких як інформація про клієнтів, замовлення, виробничі процеси та логістику. Реалізується функціонал для автоматизації задач, таких як планування, облік ресурсів і комунікація.

Тестування: На завершальному етапі проводиться перевірка працездатності системи: тестування функціоналу (чи коректно працює управління замовленнями, чи зручно працівникам), інтеграції між підрозділами (наприклад, чи правильно передаються дані від відділу продажів до цехів через логістику) та стабільності роботи веб-додатку. Виявлені помилки виправляються перед впровадженням.

ВИСНОВОК. У дослідженні розроблено веб-додаток CRM для адміністрування виробничого підприємства на базі ASP.NET та SQL Server, з урахуванням потреб підрозділів. Система автоматизує управління замовленнями, координацію між цехами, логістикою та відділом продажів, забезпечуючи стабільність і безпеку даних. Розроблена CRM-система підвищує ефективність управління виробничим підприємством завдяки автоматизації рутинних процесів, таких як обробка замовлень і розподіл ресурсів. Вона забезпечує швидкий доступ до інформації для всіх підрозділів, що покращує координацію між цехами, логістикою та відділом продажів. Використання ASP.NET і SQL Server гарантує безпеку даних і можливість масштабування системи. Практична цінність полягає в скороченні часу на виконання операційних задач, зменшенні помилок і підвищенні продуктивності підприємства.

Тестування підтвердило ефективність системи в реальних умовах. Запропонована система комп'ютерного адміністрування дозволяє створити інноваційний підхід до управління виробництвом, що відповідає концепціям сталих і розумних міст та спільнот. Автоматизація, цифровізація та використання передових технологій сприяє підвищенню ефективності підприємств та інтеграції їх в екосистему Smart Industry 4.0. У майбутньому планується додати модулі прогнозування, інтеграцію з IoT та аналітику на основі ШІ. Проект має потенціал для масштабування та адаптації до інших підприємств.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стаття. <https://www.salesforce.com/crm/what-is-crm/crm-systems/>
2. Стаття. <https://www.microsoft.com/en-us/dynamics-365/topics/crm/best-crm>
3. Луцький національний технічний університет. Робота Студента. [Посилання](#)
4. Стаття. 06/18/2024. Ву [Daniel Roth](#), [Rick Anderson](#), і [Shaun Luttin](#). [Посилання](#).
5. Доклад від М.І. Небава та О.Г. Рятушняк [Посилання](#).

A GENERALISED MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRICITY CONSUMPTION FOR ELECTRIC DRIVES IN SMART CITIES APPLICATIONS

Artem Shevchenko, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: artem.shevchenko@nure.ua, iryna.kolupaieva@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The generalised mathematical model of electricity consumption is developed by using electromechanical analogies and Lagrange's equations of 2-nd kind in the view of the system of two first order and one two order ordinary differential equations with the related initial conditions. It allows representing the dependency between supplied voltage and the electricity consumption of the electric drive. This mathematical model is for following researches directed to formulate and to solve the problem of the optimal control theory, so that it allows developing the energy efficient automated controls for electric drives required in smart cities applications.

Key words: electricity consumption, electric drive, mathematical modelling, smart sites.

RELEVANCE. Automated electric drives are principal structural elements in a lot of technical systems involved in households and industrial applications at present. The green transition ambitions of the EU make more significant importance of electric drives, because they have zero own carbon emission, and they can provide carbon neutrality together with the green power generating technologies like solar, wind, hydro and nuclear. Although automated electric drives are known and widely used a lot of times, they are traditionally designed without energy efficiency demands and they provide only the stability of exploitational modes. At the same time, energy efficiency demands require more careful mathematical modelling of the processes in the automated electric drive to represent dependencies between automated controls and energy consumptions, as it is discussed for an example in the published explorations [1,2]. So, developments of the improved mathematical modelling of the processes inherent for the automated electric drives are the relevant problem due to relationships with energy efficiency demands for infrastructures of smart cities. The purpose of this research is in development of a generalized mathematical model of the electricity consumption in electric drives providing the required detailing to represent dependencies between automated controls and energy consumptions.

RESULTS. An electric drive provides required operations due to electric voltages supplied on the electric motor, so that the corresponding electric power is consumed to have the required angular velocity of the output shaft of the electric drive with corresponding exploitation loads. If an electric drive is considered as an automation object, then the supplied voltage is chosen to provide the required angular velocity of the output shaft of the electric drive during an operation, so that to represent the dependence between controls and electricity consumptions it is necessary to represent the dependence between the supplied voltage and angular velocity of the output shaft of the electric drive with correspondent exploitation loads. Taking into account all these circumstances, to represent the dependence between controls and electricity consumptions it is required to consider automated electric drive as the electromechanical system, and the electromechanical analogies with Lagrange's equations of 2-nd kind are used to do it.

The electric drive with the direct current electric motor is considered [1, 2], so that the electric charge q_e in the rotor winding and the angle φ of rotation of the output shaft are considered as the generalised coordinates representing the electric drive as the electromechanical system. It is assumed, that the rotation angle of the rotor of electric motor is defined by the rotation angle of the output shaft are related

$$\varphi_e = \varphi_e(\varphi), \quad (1)$$

where φ_e is the rotation angle of the rotor of the electric motor.

The electromechanical analogies and the Lagrange's equations of the 2-nd kind lead to the systems of two differential equation of second order, but it is possible to exclude the electric charge q_e from these equations, so that after correspondent equal transformations these equations will have the following view with the related initial conditions:

$$L_e \frac{dI}{dt} = -R_e I - B_e \frac{d\varphi_e}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} + U_e(t), \quad (2)$$

$$\left(J_e \left(\frac{d\varphi_e}{d\varphi} \right)^2 + J_m(\varphi) \right) \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \left(2J_e \frac{d\varphi_e}{d\varphi} \frac{d\varphi_e}{dt^2} + \frac{dJ_m}{d\varphi} \right) \frac{d\varphi}{dt} = B_e \left(\frac{d\varphi_e}{d\varphi} \right)^2 \frac{d\varphi}{dt} - M \left(t, \varphi, \frac{d\varphi}{dt} \right), \quad (3)$$

$$I(t_0) = I_0, \quad \varphi(t_0) = \varphi_0, \quad \frac{d\varphi}{dt}(t_0) = \omega_0, \quad (4)$$

where t is the time; $I = dq_e/dt$ is the electric current in the rotor winding; L_e , R_e , B_e and J_e are the inductance, the resistance of the rotor winding, the electrotechnical characteristic of the electric motor and the moment of inertia of their rotor; $U_e(t)$ is the voltage supplied to the electric motor; $J_m(\varphi)$ is the moment of inertia of the mechanical parts of the electric drive and loads; $M(t, \varphi, d\varphi/dt)$ is the generalised mechanical couple representing the loads relatively the rotation axis of the output shaft of the electric drive; t_0 is the given initial time, and I_0 , φ_0 , ω_0 are the given values of the electric current, rotation angle, rotation velocity at the initial time $t = t_0$.

To estimate the consumed electric energy, the mathematical model (2)–(4) of the electric drive must be complemented by the following differential equation and the related initial condition:

$$\frac{dE}{dt} = I(t)U_e(t), \quad E(t_0) = E_0, \quad (5)$$

where $E = E(t)$ is the consumed electric energy before the time t and E_0 is the consumed electric energy before the initial time $t = t_0$.

The mathematical model (2)–(5) gives the representation of dependency between the voltage $U_e(t)$ supplied to electric motor and electricity consumption $E(t)$ of the electric drive. The energy efficient automated control for the electric drive must be due to the choice of the voltage $U_e(t)$ supplied to electric motor, and to have such energy efficient controls, it is necessary to formulate and to solve the related problem of the optimal control theory on the basis of the developed mathematical model (2)–(5).

CONCLUSIONS. The generalised mathematical model of electricity consumption in electric drives is developed in the view of the system of ordinary differential equations with the related initial conditions. It is shown, that estimations of the electricity consumptions require considering of the electric drive as the electromechanical system, so that at least two generalised coordinates are necessary. The view of the differential equations of the developed mathematical model is significantly defined by the relation between the rotation angles of the rotor of electric motor and the output shaft of the electric drive. Continuation of this research is planned to consider the particular examples of electric drives with different relations between the rotation angles of the rotor of electric motor and the output shaft.

REFERENCES:

1. Kolupaieva, I., Nevliudov, I., Romashov, Y., Tiesheva, L., & Vértesy, L. (2024). Intelligent Automated Control in Accordance with Resource Efficiency Criteria toward Circular Economy Transition. Lecture Notes in Networks and Systems, 1089 LNNS, pp. 133–141, https://doi.org/10.1007/978-3-031-67195-1_17

2. Nevliudov, I., Omarov, M., Romashov, Y., Muradova, V., & Vzhesnievskiy, M. (2023). One approach to find optimal controls for discrete dynamic systems with numerical methods application. *Advanced Mathematical Models and Applications*, 8 (3), pp. 548–564.
3. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.
4. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.
5. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.
6. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.
7. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.
8. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.
9. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 8.
10. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Calculation of the Distance to Objects in Collaborative Robots Workspace Using Computer Vision. *Journal of universal science research*, 2(11), 240-255.
11. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gurin, D., & Alkhalailah, A. (2024). Data Fusion Research for Collaborative Robots-Manipulators within Industry 5.0. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 1(4), 125-137.
12. Yevsieiev, V., Alkhalailah, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.
13. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.

CIRCULAR CONCEPTS OF RESEARCH ROBOTICS FOR SMALL SCALE BENCHMARKS IN AUTOMATION ENGINEERING OF SMART CITIES

Matvii Tkalenko, Irina Kolupaieva, Yurii Romashov

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av., 14

E-mail: matvii.tkalenko@nure.ua, iryna.kolupaieva@nure.ua, yurii.romashov@nure.ua

Annotation: The standardisation of the parts and the usage of the 3D printing are considered as the concepts allowing to develop the research robotics prototypes for benchmarks of engineering automation's solutions to implement in support smart cities applications. It allows to provide the Reduce and Reuse principles of the circular economy at present, but implementations of the Recycle principle required complementary technologies not fully accessed at present. Small scales of the robotics prototypes decrease exploitative energy consumptions during the researches, so that the related carbon emissions are decreased.

Key words: circular economy, smart cities, automation benchmarks, robotics prototype.

RELEVANCE. Implementations of green and digital technologies are assumed to be crucial to provide sustainable prosperity and competitiveness of the EU next decades [1], and any support of smart cities initiatives is in full agreement with it. So, the relevance of this research is due to directions to circular concepts to develop research robotics required to benchmarks of green and digital automation engineering solutions for smart cities' applications.

Automation technologies are crucial for smart cities applications, as it is highlighted in a lot of published researches like in [2] for an example. Substantiations and illustrations of the engineering automation solutions are important to develop the reliable automated control systems for smart cities, and the suitable prototypes are required to do it, as it is discussed in the research [3] for an example. The importance is due to the necessity of the checking for novel automation engineering's solutions having no direct analogues and prototypes, including for the checking of the proposed mathematical models and related results predicted theoretically such as for an example in the research [4] based on the computer simulations only. The difficulties of benchmarks for automation engineering's solutions are related with developments of suitable real-world prototypes allowing to represent fully properties inherent exactly for the considered automation object, because it requires correspondent funding, and it is accompanied with energy, material consumptions leading to carbon emissions and solid wastes accumulations polluting the environment. The purpose of this research is in implementations of circular economy principles to develop research robotics for benchmarks of automation engineering's solutions directed to improve controls of smart cities infrastructures. Such a formulated purpose is in agreement with the EU visions, that the circular economy transition is one crucial way to achieve the sustainable prosperity and competitiveness of the EU next decades as it is highlighted in the political agenda [1].

RESULTS. It is possible to give different classifications of economic systems, but due to the global problems related with the pollution of the environment the directions of resources' flows are considered as the economics classification feature. The linear economics has the unidirectional flow of resources from the raw materials to the wastes, which are emitted to the environment, but the circular economy has the loop returning part of the wastes to the productions as raw materials after the recycling, so that it allows decreasing emissions of wastes to the environment. Of course, it is impossible to recycle all the wastes, but the degree of the possible recycling is defined by the design of products. Besides, reuse of the products and reducing the wastes after utilisations of products also lead to decrease emissions to the environment, but such possibilities are defined significantly by the design of products. So, the basic principles of the circular economy are formulated as 3R, which represents Reduce, Reuse, Recycle actions. It is assumed that implementations of these principles allow minimising emissions of wastes to the environment, but it is possible only if these principles

are applied for the most of products, including for the prototypes developed to benchmarks of automation engineering's solutions in smart cities applications.

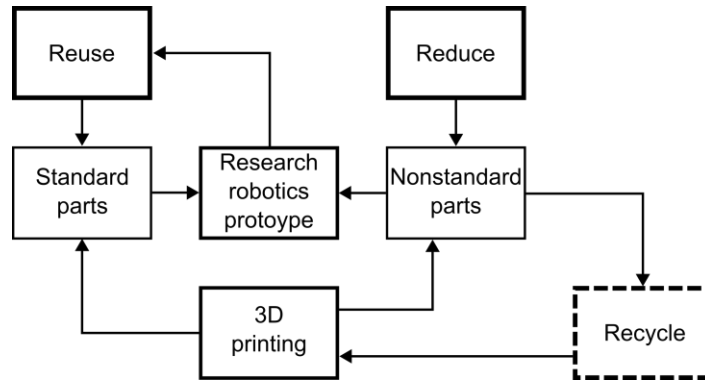


Figure 1 – Circular economy principles in developments of research robotics

The careful standardisation of the parts and the usage of the 3D printing usage are proposed as the principal pillars (Figure 1) for implementations of circular economy principles to develop the research robotics prototypes for benchmarks of automation engineering's solutions supporting smart cities applications. Indeed, the standardisation allows to reuse the same parts in different developed prototypes, and it allows to reduce the necessity of developments and productions of nonstandard parts (Figure 1). Usage of the 3D printing allow to have the least power consumptions comparing with metallic parts, and it allows to do decrease the time from the designing to the obtaining of produced parts. Besides, the plastics can be recycled by means the higher temperatures and used further to produce new parts. At the same time, it is necessary to highlight, that technologies providing recycling of the part printed by 3D printers are not fully accessible at present. The small scales of the developed robotics prototypes allow decreasing exploitative energy consumptions. The reduction of materials' flows and energy consumptions due to implementations of the proposed concepts lead to decrease direct and indirect carbon emissions in the environment.

CONCLUSIONS. The standardisation of the parts and the usage of the 3D printing allow to implement the circular economy principles to development of research robotics prototypes required for benchmarks of automation engineering's solutions supporting smart cities applications. It allows to provide the Reuse and Reduce principles of the circular economy at present, but to provide the Recycle principle, it is required the technologies, whose are not fully accessible at present. Small scales of the robotics prototypes allow decreasing exploitative energy consumptions during the researches, so that the related carbon emissions are decreased.

REFERENCES:

1. Leyen, U. (20124). European Commission and Directorate-General for Communication, Europe’s choice – Political guidelines for the next European Commission 2024–2029. Luxembourg: Publications Office of the European Union. 31 p. <https://doi.org/10.2775/260104>
2. Rani, S., & Kumar, R. (2022). Bibliometric review of actuators: Key automation technology in a smart city framework. *Materials Today: Proceedings*. Volume 60, Part 3. P. 1800-1807. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.469>
3. Castilla, M., Rodríguez, F., Álvarez, J.D., Donaire J.G., & Ramos-Teodoro, J. (2020). A Hardware-in-the-Loop Prototype to design Benchmarks for Automation and Control Education**This work has been funded by Teaching Innovation project named “Desarrollo de un prototipo Hardware-in-the-Loop de bajo coste para la enseñanza de Automatización en estudios de Ingeniería” belonging to the Call for the creation of Teaching Innovation groups and Good Teaching

Practices at the University of Almería (Biennial 2019-20). IFAC-PapersOnLine. Volume 53, Issue 2. P. 17314-17319. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1815>

4. Kolupaieva, I., Nevliudov, I., Romashov, Y., Tiesheva, L., & Vértesy, L. (2024). Intelligent Automated Control in Accordance with Resource Efficiency Criteria toward Circular Economy Transition. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 1089 LNNS, pp. 133–141, https://doi.org/10.1007/978-3-031-67195-1_17

5. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.

6. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.

7. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.

8. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI : characteristics and features : collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago : European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.

9. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.

10. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.

11. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 8.

12. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Calculation of the Distance to Objects in Collaborative Robots Workspace Using Computer Vision. *Journal of universal science research*, 2(11), 240-255.

13. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gurin, D., & Alkhalaileh, A. (2024). Data Fusion Research for Collaborative Robots-Manipulators within Industry 5.0. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 1(4), 125-137.

14. Yevsieiev, V., Alkhalaileh, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.

13. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.

**Ігор НЕВЛЮДОВ,
Іріна КОЛУПАЄВА,
Владислав ЄВСЄЄВ,**

**I International Conference
«Sustainable smart cities and communities:
business and innovation solutions»
(Сталі розумні міста та спільноти:
бізнес та інноваційні рішення)
SSC&C2025**

(укр., англ. мовою)
[електронне видання]

Відповідальний редактор – Невлюдов І.Ш.

Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(КІТАР)

61166, Харків, проспект Науки, 14
корпус "А"
ауд. 162-1
тел .: +38 (057) 702-14-86
e-mail:m_ms@nure.ua

Підписано до друку 18.04.2025
Формат 60x84/8. [електронний друк]
Умовн. друк. арк.4,7. Зам. No 04-11.